
MICHAEL R. MATTHEWS
LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA
Un enfoque desde la historia y la filosofía de la ciencia
EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
fce

SECCIÓN DE OBRAS DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA

LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

Traducción
MAIA F. MIRET

MICHAEL R. MATTHEWS

La enseñanza de la ciencia

UN ENFOQUE DESDE LA HISTORIA
Y LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

Edición de vigésimo aniversario
revisada y aumentada



Primera edición en inglés, 1994
Segunda edición en inglés, 2015
Primera edición electrónica, 2017

Diseño de portada: Paola Álvarez Baldit

Título original: *Science Teaching: The Contribution of History and Philosophy of Science*

Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14738 Ciudad de México

Comentarios:
editorial@fondodeculturaeconomica.com
Tel. (55) 5227-4672


www.fondodeculturaeconomica.com

ISBN 978-607-16-5149-5 (mobi)

Hecho en México - *Made in Mexico*

Para mis hijas:
Clare, Alice y Amelia

SUMARIO

PREFACIO

Me complace mucho que el vigésimo aniversario de mi libro *La enseñanza de la ciencia,* publicado en 1994, se celebre con una edición actualizada y aumentada. El libro se ha reimpreso continuamente durante estos 20 años, lo cual sugiere que algún mérito debe tener. En el prefacio de la edición de 1994, que puede leerse más adelante, se describe el contexto intelectual del libro. Es reconfortante comprobar que los argumentos filosóficos sólidos conservan sus méritos durante largo tiempo; por supuesto, tener "méritos filosóficos" no equivale a "estar en lo correcto", pero sí quiere decir que se es lo suficientemente claro como para permitir que los lectores descubran los errores por sí mismos (volveremos a este tema de la claridad en la comunicación y la argumentación en el capítulo XII). En dicho prefacio se declaraba la idea central de la primera edición:

> Con todo y sus fallas, la tradición científica ha fomentado la racionalidad, el pensamiento crítico y la objetividad. Inculca un interés por la evidencia y por que las ideas sean juzgadas no por intereses personales o sociales, sino por la forma misma en que funciona el mundo; un sentido de "piedad cósmica", como la llamó Bertrand Russell. Estos valores están bajo ataque, tanto dentro como fuera de la academia. Algunas versiones del posmodernismo y del constructivismo, muy influyentes en el ámbito educativo, le dan la espalda a la racionalidad y a la objetividad, arguyendo que la suya es una búsqueda quijotesca. Se trata, pues, de un desafío muy serio para la profesión de la enseñanza de la ciencia.
>
> El vigor de la tradición científica y el impacto positivo que pueda tener en la sociedad dependen de que existan maestros que entiendan y valoren la ciencia y que sean capaces de presentar a los niños sus logros, sus métodos y sus procesos de pensamiento en forma efectiva. La historia y la filosofía de la ciencia contribuyen a su comprensión y a su valoración.

Durante los 20 años que han transcurrido desde que se escribió, los acontecimientos mundiales y la innovación educativa no han hecho más que fortalecer estas convicciones. Esta "huida de la ciencia" persiste y está ampliamente documentada en reportes gubernamentales de Estados Unidos y Europa. Se han debatido sin cesar muchos problemas sociocientíficos, tales como el uso de células troncales que provienen de células embrionarias fabricadas de manera artificial, el control o el uso de cultivos genéticamente modificados, el reconocimiento del cambio climático antropogénico y las formas de mitigarlo, el control —o descontrol— de la energía nuclear y la vacunación infantil obligatoria. Con la globalización económica y cultural se han formulado preguntas muy serias sobre la supuesta universalidad de la ciencia y sobre la justificación y la utilidad de enseñar una ciencia ortodoxa en culturas que tienen sus propios conocimientos tradicionales sobre la naturaleza y visiones del mundo no científicas. Tras la alarma kuhniana de la década de 1960 varias olas posmodernistas han cruzado el ámbito académico, incluidas las distintas escuelas de educación, cada una de las cuales ha puesto en duda las bases tradicionales de la enseñanza de la ciencia. Y hay muchos otros

asuntos apremiantes, todos los cuales tienen dimensiones filosóficas.

En Oriente Medio, en África y en el subcontinente indio ha habido guerras incesantes, alimentadas por ideologías pero peleadas con armas de alta tecnología que son posibles gracias a la ciencia. Cada ataque de drones, cada reporte del uso de bombas termobáricas, por no hablar de las bombas ordinarias y del napalm, cada ataque con gas venenoso, pone en el centro de la discusión los valores de la ciencia, la responsabilidad de los científicos y el propósito de la enseñanza de la ciencia. Entender estos acontecimientos y problemas, y responder apropiadamente a ellos, requiere cierto grado de análisis racional, crítico y objetivo; la forma de avanzar no es, de ninguna manera, adoptar formas de pensamiento irracionales, acríticas y subjetivas. Estas capacidades intelectuales y personales —hábitos científicos de las mentes de temperamento científico — pueden desarrollarse en los salones de ciencia cuando los planes de estudio y la pedagogía incluyen elementos de la historia y la filosofía de la ciencia.

Desde la primera edición de este libro, ha habido muchos avances en los planes de estudio de enseñanza de la ciencia que reconocen explícitamente la importancia de enseñar las dimensiones filosóficas, culturales e históricas de la ciencia. En Estados Unidos, el National Research Council publicó los primerísimos Estándares Nacionales de Educación de la Ciencia en 1996 (National Research Council, 1996). Estos estándares reconocen el papel central que el conocimiento filosófico e histórico desempeña en la enseñanza de la ciencia. En Gran Bretaña un grupo de importantes pedagogos de la ciencia, tras reflexionar sobre el Currículo Nacional Británico y las formas más apropiadas de enseñar ciencia en el nuevo milenio, escribieron un reporte con 10 recomendaciones, la sexta de las cuales dice: “El plan de estudios de ciencia debería permitirle a los jóvenes comprender algunas ideas centrales de la ciencia, es decir, ideas sobre las formas en las que se ha obtenido en el pasado, y sigue obteniéndose, conocimiento confiable sobre el mundo natural” (Millar y Osborne, 1998, p. 20). Otros países europeos y asiáticos han hecho declaraciones comparables sobre los resultados, más amplios y más profundos, que se esperan de la ciencia escolar.

Es evidente que los objetivos de los Estándares Nacionales de Estados Unidos, del grupo de Gran Bretaña y de otros grupos nacionales sólo pueden alcanzarse si los maestros de ciencia poseen algún grado de familiaridad y entusiasmo por la historia y la filosofía de su materia. Un documento que publicó la US Association for the Education of Teachers in Science, la asociación profesional a la que pertenecen quienes preparan a los maestros de ciencia, lo reconoce en una de sus propias recomendaciones: “Estándar 1d: El maestro de ciencia principiante debe poseer niveles de comprensión de la filosofía, la sociología y la historia de la ciencia que superen los que se especifican en los documentos de la reforma [de Estados Unidos]” (Lederman *et al.,* 1997, p. 236).

Los argumentos que proponen los autores de estos planes de estudio siguen siendo

los mismos que se plantearon en la primera edición de este libro.

Además de los avances curriculares de los últimos 20 años, se ha amasado un gran volumen de investigación interdisciplinaria en el campo de la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de la ciencia. Esta investigación ha contribuido en tres categorías relevantes para los maestros de ciencia:

1) *Preguntas teóricas* que inciden en la enseñanza de la ciencia, tales como afirmaciones constructivistas sobre lo que la ciencia dice conocer, críticas feministas de la ciencia, el estatus de las ciencias indígenas o locales y si deben o no ser enseñadas en los programas de ciencia, la ciencia y la religión, el lugar que ocupan los modelos en ciencia, los valores científicos y su relación con los valores culturales, entre otras.
2) *Preguntas curriculares* sobre la estructura, el contenido y la planeación de los programas escolares de ciencia.
3) *Preguntas pedagógicas* sobre la forma en la que el uso de materiales históricos y filosóficos afecta la motivación, el interés y el aprendizaje de los alumnos, tanto *de* la ciencia como *sobre* ella.

El avance más importante en la investigación en la historia, la filosofía y la enseñanza de la ciencia desde la edición de 1994 ha sido la fundación y el crecimiento continuo de la revista *Science & Education: Contributions from History, Philosophy and Sociology of Science and Education* [Ciencia y educación: Contribuciones desde la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia y la educación]. La revista está en su vigésimo tercer año de vida, y cada año se publican 10 números (www.springerlink.com). Se han publicado cerca de 800 artículos de investigación; en 2011, se realizaron 108 650 descargas del sitio web de la revista, la mayor parte de ella realizadas, curiosamente, desde Asia.

Una parte nodal de la infraestructura de la historia, la filosofía y la enseñanza de la ciencia ha sido el International History, Philosophy and Science Teaching Group (IHPST, www.ihpst.net). El grupo se asoció con la revista; celebró su reunión inaugural en Tallahassee en 1989 y desde entonces organiza exitosas conferencias bienales,[1] algunas selecciones de cuyas actas se publican en la revista,[2] y ha comenzado un programa de encuentros bienales regionales en América Latina y Asia[3] a los que asisten maestros, pedagogos, historiadores, filósofos y científicos cognitivos.

La vitalidad y el alcance internacional de los saberes y los compromisos actuales de la historia, la filosofía y la enseñanza de la ciencia resultan evidentes en los tres volúmenes y 66 capítulos que componen el *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* [Manual internacional de investigación en enseñanza

de la historia, la filosofía y la ciencia, Matthews, 2014]. Dicha obra, con secciones sobre Estudios pedagógicos, Estudios teóricos, Estudios nacionales y Estudios biográficos, está compuesta por contribuciones de 125 autores de 30 países y contiene 11 000 referencias. Muchos de los temas y de los debates que este libro "toca" se desarrollan ampliamente en los capítulos del *Manual.*

El libro tiene tres objetivos principales: uno, mostrarle a los educadores que la historia y la filosofía de la ciencia es un tema interesante y cautivador, y que puede servir para arrojar luz sobre muchos de los problemas teóricos, curriculares y pedagógicos con los que deben tratar; dos, enseñarle a los historiadores y a los filósofos que pueden usar sus propias experiencias y saberes en los debates sobre enseñanza de la ciencia, desarrollo de planes de estudio y enseñanza en las aulas, y tres, cultivar entre los maestros la sensación de que ellos también pertenecen y contribuyen a la tradición científica y filosófica que tan gran influencia social y cultural ha tenido en el mundo. Todos deberían estar conscientes de que no hay ciencia sin maestros de ciencia. Cité *in extenso* tantos fragmentos como pude de los principales pensadores que analizo en el texto —Aristóteles, Galileo, Huygens, Newton, Priestley, Mach y otros— para que puedan escucharse un poco sus propias voces; con demasiada frecuencia conocemos los nombres pero no los hemos oído hablar, y las citas son un recurso humilde para dejarlos expresarse por sí mismos.

MICHAEL R. MATTHEWS
School of Education, University of New South Wales,
Sydney 2052, Australia
Febrero de 2014

REFERENCIAS

Lederman, N. G., P. J. Kuerbis, C. C. Loving, L. Ramey-Gassert, A. Roychoudhury y B. S. Spector (1997), "Professional knowledge standards for science teacher educators", *Journal of Science Teacher Education,* vol. 8, núm. 4, pp. 233-240.

Matthews, M. R. (coord.) (2014), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* 3 vols., Dordrecht, Springer.

Millar, R., y J. Osborne (1998), *Beyond 2000: Science Education for the Future,* Londres, School of Education, King's College.

NRC (National Research Council) (1996), *National Science Education Standards,* Washington, D. C., National Academies Press.

PREFACIO A LA EDICIÓN DE 1994

El objetivo de este libro es contribuir a la enseñanza de la ciencia y a la formación de maestros de ciencia estrechando los lazos entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de la ciencia. Tengo la certeza de que la enseñanza de la ciencia puede mejorar si se le inculcan dimensiones históricas y filosóficas. Esta enseñanza contextual, o liberal, de la ciencia en las escuelas beneficia tanto a los alumnos que seguirán una carrera científica como a aquellos, la mayoría, para quienes la ciencia escolar es su último contacto con la enseñanza formal en esta área del conocimiento.

Esta convicción de que el aprendizaje *de* la ciencia debe estar acompañado por el aprendizaje *sobre* la ciencia es básica para los enfoques liberales de la enseñanza de la ciencia. Esta postura ha sido defendida con elocuencia entre otros por Ernst Mach, James Conant, Gerald Holton, Joseph Schwab y Martin Wagenschein. Este libro es un esfuerzo por ordenar las ideas de la tradición liberal: procura examinar la historia del debate en la materia; enumerar sus publicaciones principales; pormenorizar la investigación contemporánea relevante, particularmente sobre el aprendizaje de la ciencia en los niños; señalar problemas prácticos y teóricos de la enseñanza actual de la ciencia a cuya solución pueden contribuir la historia y la filosofía de la ciencia; ofrecer un recuento del desarrollo de los planes de estudio que encarnan el espíritu liberal de la enseñanza de la ciencia, e indicar formas en las que la historia y la filosofía de la ciencia puede incluirse con buenos resultados en los programas de formación de maestros.

Este libro es el trabajo de un peón que limpia un poco el jardín, por usar la expresión de John Locke. Se hicieron unos surcos y se plantaron algunas semillas. Con suerte otras personas regarán el jardín, corregirán esos surcos, plantarán nuevas semillas y desyerbarán un poco. Si el libro estimula a los maestros de ciencia tanto escolar como universitaria a interesarse más por la historia y la filosofía de la ciencia, y anima a historiadores, filósofos y sociólogos de la ciencia a interesarse e involucrarse en la educación de la ciencia, habrá logrado uno de sus propósitos. Si contribuye a que se incluyan estudios sobre la historia y la filosofía de la ciencia en los programas de formación de maestros de ciencia, habrá conseguido otro propósito. Si fomenta el interés de los maestros de ciencia en la teoría educativa, habrá logrado uno más.

El argumento de este libro es que los maestros de ciencia requieren tener tres habilidades: primera, conocer y apreciar la ciencia; segunda, cierta comprensión de la historia y la filosofía de la ciencia para hacerle justicia a la materia que están enseñando y para enseñarla bien, así como para evaluar con inteligencia los muchos debates teóricos y educativos que se propagan con rapidez por los planes de estudio de ciencias, y tercera, una teoría o visión educativa que pueda contribuir a sus actividades en el aula y a su

relación con los alumnos, y que les otorgue razones y propósitos a su trabajo pedagógico. Los maestros de ciencia contribuyen a la educación general de los estudiantes, de modo que necesitan tener una perspectiva más o menos sólida sobre qué es la educación y qué resultados buscan obtener. Los maestros deben mantener la mirada fija en el premio educativo, con mayor razón ahora que las presiones sociales devalúan cada vez más las tradiciones intelectuales y críticas de la educación.

En general se reconoce que existe una crisis en la educación científica occidental. Los niveles de alfabetismo científico son perturbadoramente bajos, lo cual es anómalo, puesto que la ciencia es uno de los mayores logros de la cultura humana. Tiene un pasado maravillosamente interesante y complejo, nos ha revelado enormes cantidades de cosas sobre nosotros mismos y sobre el mundo en el que vivimos, ha transformado en forma directa e indirecta nuestros universos sociales y naturales, y los problemas humanos y ambientales que requieren una comprensión científica son apremiantes; y sin embargo los alumnos y los maestros están desertando de la ciencia.

Esta fuga del aula de ciencias, emprendida tanto por maestros como por alumnos, está lamentablemente muy bien documentada. En Estados Unidos se estimó a mediados de la década de 1980 que cada año se incorporaban a la docencia 600 graduados de ciencia, y que 8 000 la abandonaban (Mayer, 1987). En 1986, 7 100 preparatorias de Estados Unidos no tenían clase de física, y 4 200 no tenían un curso de química (Mayer, 1987). En 1990, únicamente cuatro estados exigían que se cursaran los tres años de ciencias básicas que recomendaba el aleccionador reporte *A Nation at Risk* [Una nación en peligro, publicado en 1983]; el resto permitía que los alumnos se graduaran de preparatoria con sólo dos años de ciencia (Beardsley, 1992, p. 80). Independientemente de cuántos años se exigieran, 70% de los alumnos abandonaban las ciencias a la primera oportunidad que tenían, y ésta es una de las razones por las cuales en 1986 menos de uno de cada cinco graduados de preparatoria había estudiado algo de física. En 1991, la Carnegie Commission on Science, Technology and Government advirtió que los fracasos de la enseñanza de las ciencias eran tan graves que representaban una "amenaza seria y crónica para el futuro de nuestra nación" (Beardsley, 1992, p. 79). En Gran Bretaña, los reportes recientes de la National Commision on Education y de la Royal Society han documentado tendencias similares. Un estudioso de la materia dijo que "adondequiera que mires los alumnos están dándole la espalda a la ciencia […] Los que llegan a la universidad con frecuencia son de un calibre alarmantemente bajo" (Bown, 1993, p. 12). En Australia, en 1989 los programas de ciencia tuvieron los requisitos de entrada más bajos de todas las carreras.

Existen complejas razones económicas, sociales, culturales y sistémicas para este rechazo de la ciencia, y rectificarlas está fuera del alcance de los maestros. Pero también hay razones educativas sobre las que pueden incidir los maestros y los funcionarios. En

1989, por ejemplo, una proporción muy preocupante de los alumnos que obtuvieron las mejores calificaciones en las clases de ciencia en las escuelas de Australia dijo que la razón por la cual no planeaba seguir una carrera universitaria de ciencias era que le parecía "demasiado aburrida". Son estos fracasos curriculares y pedagógicos los que la historia de la filosofía y de la ciencia puede ayudar a enmendar.

Una parte de esta contribución de la historia y la filosofía de la ciencia es la de conectar temas dentro de disciplinas científicas particulares, vincular las disciplinas científicas entre sí, relacionar las ciencias en general con las matemáticas, la filosofía, la literatura, la psicología, la historia, la tecnología, el comercio y la teología y, finalmente, demostrar en forma más amplia las interconexiones que existen entre la ciencia y la cultura: el arte, la ética, la religión, la política. La ciencia se ha desarrollado en conjunto con otras disciplinas; ha existido una interdependencia mutua. También se ha desarrollado, y se practica, dentro de un entorno cultural y social más amplio. Estas interconexiones e interdependencias pueden explorarse adecuadamente en los programas de ciencia, desde la educación básica hasta los programas de posgrado. El resultado que se alcanza así es más satisfactorio para los alumnos que esos temas descontextualizados que conforman la mayor parte de los programas de ciencia, desde la educación básica hasta la universidad. Con demasiada frecuencia las clases de ciencia son, como dijo un alumno, "marchas forzadas a través de un territorio desconocido, sin tiempo para mirar hacia los lados".

La defensa de la ciencia en la escuela es importante, si no es que indispensable, para la salud intelectual de la sociedad. Las visiones irracionales y pseudocientíficas del mundo ya están bien afianzadas en la cultura occidental, y la anticiencia es cada vez más popular. Las murallas de la sociedad no son las únicas que han cedido —como atestigua la prensa amarillista con sus notas del tipo "Elvis vive", las encuestas de Gallup que muestran que 40% de la población adulta de Estados Unidos cree que la vida humana comenzó en la Tierra hace apenas un par de miles de años, y los horóscopos en todos los periódicos—; según una encuesta de 1988 (pequeña y esperemos que no representativa), 30% de los maestros de biología en Estados Unidos rechazaban la teoría de la evolución, y 22% creían en fantasmas (Martin, 1994). Con todo y sus fallas, la tradición científica ha promovido la racionalidad, el pensamiento crítico y la objetividad; inculca un interés por la evidencia y porque las ideas sean juzgadas no por intereses personales o sociales, sino por la forma misma en que funciona el mundo (un sentido de "piedad cósmica", como lo llamó Bertrand Russell). Estos valores están bajo ataque, tanto dentro como fuera de la academia. Algunas versiones del posmodernismo y del constructivismo muy influyentes en el ámbito educativo le dan la espalda a la racionalidad y a la objetividad, arguyendo que la suya es una búsqueda quijotesca. Se trata, pues, de un desafío muy serio para la profesión de la enseñanza de la ciencia.

El vigor de la tradición científica y su impacto positivo en la sociedad dependen de que existan maestros que entiendan y valoren la ciencia y que sean capaces de presentar a los niños sus logros, sus métodos y sus procesos de pensamiento en forma efectiva. La historia y la filosofía de la ciencia contribuyen a su comprensión y a su valoración.

Este libro tiene su origen en el International History, Philosophy, and Science Teaching Group, con el cual contribuye. Se trata de un grupo heterogéneo de maestros, científicos, pedagogos, historiadores, matemáticos, filósofos de la educación y filósofos de la ciencia que durante los últimos cinco años han organizados dos conferencias[1] y se han ocupado de que se publiquen muchos números especiales en revistas académicas consagradas a la historia y la filosofía de la ciencia y a la enseñanza de la ciencia.[2] En el libro *History, Philosophy, and Science Teaching: Select Readings* [Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia: Lecturas selectas, Matthews, 1991] se han recogido y publicado algunos artículos básicos para el campo que pueden ser útiles como lecturas adicionales. El Grupo Internacional de Enseñanza de la Historia, la Ciencia y la Filosofía también está asociado con una nueva revista dedicada al tema de este libro: *Science & Education: Contributions from the History, Philosophy, and Sociology of Science and Mathematics* [Ciencia y educación: Contribuciones de la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia y las matemáticas].[3]

REFERENCIAS

Beardsley, T. (1992), "Teaching real science", *Scientific American,* octubre, pp. 78-86.

Bown, W. (1993), "Classroom science goes into freefall", *New Scientist,* diciembre, pp. 12-13.

Herget, D. E. (coord.) (1989), *The History and Philosophy of Science in Science Teaching,* Tallahassee, Florida State University.

———— (1990), *The History and Philosophy of Science in Science Teaching,* Tallahassee, Florida State University.

Hills, S. (coord.) (1992), *The History and Philosophy of Science in Science Education,* 2 vols., Kingston, Queen's University.

Martin, M. (1994), "Pseudoscience, the paranormal, and science education", *Science & Education,* vol. 3, núm. 4, pp. 357-372.

Matthews, M. R. (coord.) (1991), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto, OISE Press.

Mayer, J. (1987), "Consequences of a weak science education", *Boston Globe,* septiembre.

AGRADECIMIENTOS

La mayor parte de mis deudas personales para esta edición del vigésimo aniversario de la publicación de mi libro de 1994 son las mismas que para el original. En primer lugar, como ocurre siempre que se escribe un libro, las familias pagan el precio. Desde 1994 mi familia, conformada por mi esposa Julie y por mis hijas Clare y Alice, se ha visto engrosada con el nacimiento de una tercera hija, Amelia, y dos nietos, Joshua y Elenore. Todos ellos vieron cómo este proyecto consumió mucho de mi tiempo, y por suerte confiaron en que hacía algo que valía la pena. Los lectores tendrán que juzgar por sí mismos si mi tiempo habría estado mejor aprovechado haciéndole caso a mi familia.

Escribir esta segunda edición ha sido una oportunidad maravillosa para revisar y reevaluar ideas y argumentos que escribí originalmente como respuesta a una invitación de Israel Scheffler, en 1989, para escribir un libro sobre enseñanza de la ciencia para la Routledge Philosophy of Education Research Library. Ninguno de los dos se habría imaginado que el libro seguiría reimprimiéndose durante tanto tiempo, o que se justificaría una segunda edición 25 años después.

En 1994 mencioné mi deuda con los maestros que me dieron a conocer, por primera vez, el tema de este libro: en la Universidad de Sídney, Wallis Suchting (filosofía) y Bill Andersen (enseñanza); en la Universidad de Boston, Robert S. Cohen, Abner Shimony y Marx Wartofsky (filosofía). Naturalmente la deuda con los maestros cultos y preparados dura para siempre. En los 20 años que han transcurrido desde la primera edición, he aprendido cosas de muchos estudiosos que tuve la suerte de conocer y tratar. Entre ellos Mario Bunge merece una mención aparte. Con sus 94 años sigue escribiendo libros y artículos que transitan fácilmente, pero con gran erudición, por la historia de la filosofía, la ciencia y la filosofía de la ciencia, siempre con una forma admirablemente clara de expresarse y con la disposición de ocuparse de temas educativos muy serios.

En 1994 mencioné lo afortunado que era de editar la revista *Science & Education,* que por entonces iba en su segundo año de vida. Después de 20 años sigo editándola, y me ha puesto en contacto con cientos de académicos de decenas de países de todo el mundo. Ellos han sido un gran repositorio de ideas y una forma privilegiada de mantenerse al corriente de las investigaciones actuales, aunque este conocimiento no siempre ha sido asimilado como merece.

En 1994 también mencioné mi gran deuda con el IHPST, que no ha hecho más que crecer durante 20 años de amistades muy valiosas y muy productivas intelectualmente. Los encuentros que hemos mantenido en Grecia, Finlandia, Argentina, Brasil, México, Dinamarca, España, India y Corea han sido especialmente notables, oportunidades maravillosas para discutir y escuchar sobre la enseñanza de la historia, la filosofía y la

ciencia en contextos distintos del dominante ámbito angloamericano. Dentro de este ámbito los encuentros bienales del IHPST que han tenido lugar durante los últimos 20 años han sido también reuniones alegres y enormemente productivas, caracterizadas por una mezcla admirable de academia y compañerismo.

Me ayudó enormemente haber sido el editor de los tres volúmenes y 66 capítulos que componen el *Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* [Manual de investigación sobre la enseñanza de la historia, la filosofía y la ciencia, Springer, 2014], que recibió las contribuciones de 125 autores de 30 países. En la lista de Referencias que aparece en cada uno de los capítulos de este libro es fácil ver lo enorme de mi deuda. Este libro podría considerarse un "esbozo" de ese manual; todos los argumentos que se encuentran aquí, y más, están exhaustivamente desarrollados y documentados en dicho trabajo posterior.

Muchos amigos han leído y comentado los diferentes capítulos de este libro: Ricardo Karam, Yann Benétrau-Dupin, Colin Gauld, Robert Nola, Roland Schulz, Edgar Jenkins y Gürol Irzik. Yo, y los lectores, estamos en deuda con ellos por sus sugerencias y correcciones. Julie House y Hans Schneider tuvieron la amabilidad de hacer la corrección de pruebas y de estilo de distintos capítulos. Tengo una deuda particular con Paul McColl, que leyó detenidamente el manuscrito entero, corrigió el estilo y me hizo sugerencias muy valiosas: una tarea heroica. Agradezco especialmente la diligencia y la competencia profesional de Louis Smith, la revisora a la que Routledge encomendó mi manuscrito en Gran Bretaña y que, aún después de todas las lecturas y correcciones mencionadas, se las arregló para reunir una lista de 110 "preguntas para el autor". Que estos 110 errores no llegaran a imprenta le ahorraron a los lectores bastantes frustraciones. Le recomiendo a todos los autores los servicios de esta excelente correctora.

Para terminar, este libro no existiría de no ser por la amable invitación de Naomi Silverman, la editora de Routledge, Taylor & Francis Education, para que escribiera una segunda edición aumentada del libro de 1994. Trabajar con ella ha sido una experiencia alegre y sencilla; se la deseo a todos los autores.

M. R. M.

FUENTES

Le agradezco a Springer y a SAGE su permiso para usar este material. En varios puntos de esta edición aumentada se citan materiales que he publicado a lo largo de los últimos 20 años, en particular:

- El capítulo VI está basado en parte en M. R. Matthews (2001), "Methodology and politics in science: The case of Huygens' 1673 proposal of the seconds pendulum as an International Standard of Length and some educational suggestions", *Science & Education,* vol. 10, núms. 1-2.
- El capítulo VII se basa en parte en M. R. Matthews (2009), "Science and worldviews in the classroom: Joseph Priestley and photosynthesis", *Science & Education,* vol. 18, núms. 6-7.
- El capítulo X se basa en parte en M. R. Matthews (2009), "Teaching the philosophical and worldview components of science", *Science & Education,* vol. 18, núms. 6-7.
- El capítulo XI está basado en parte en M. R. Matthews (2012), "Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS)", en M. S. Khine (coord.), *Advances in Nature of Science Research,* Dordrecht, Springer.
- El capítulo XII está basado en parte en M. R. Matthews (2014), "Discipline-based philosophy of education and classroom teaching", *Theory and Research in Education,* vol. 12, núm. 1, pp. 19-108.

AGRADECIMIENTOS DE LA EDICIÓN DE 1994

Durante los últimos cinco años, la escritura de este libro ha irrumpido sin misericordia en mi vida familiar. Mi esposa, Julie House, y mis hijas Clare y Alice, merecen que les dé las gracias por su paciencia. Para Julie House, merece un enorme agradecimiento por revisar y corregir los borradores del libro. Enmendó las peores redacciones, los más serios errores gramaticales y los frecuentes errores ortográficos que encontró. Además, discutió la mayor parte de los puntos centrales del libro e insistió en mantener el texto centrado en su tema. Todos los lectores están en deuda con ella por hacer su experiencia mucho más sencilla de lo que lo hubiera sido de otro modo.

Vuelvo a agradecerle al profesor Israel Scheffler su invitación para escribir este libro, así como a Vernon Howard, de la Philosophy of Education Library, y a Jayne Fargnoli, la editora de Routledge Education, por su paciencia.

Estoy en deuda con los muchos miembros del Grupo Internacional de Enseñanza de la Historia, la Filosofía y la Ciencia, que durante los últimos cinco años han sido muy generosos con sus ideas, su hospitalidad y su entusiasmo. Hubo dos importantes conferencias, organizadas por Ken Tobin y David Gruender (Tallahassee, 1989) y Skip Hills y Brian McAndrews (Kingston, 1992), que sirvieron como estímulo para muchas de las ideas que se han vertido en este libro. Ser editor de la revista *Science & Education,* que está consagrada al tema del que se ocupa el libro, me ha permitido leer y beneficiarme del trabajo de una amplia gama de autores de todo el mundo. La asesoría y

el estímulo de Martin Eger y Fabio Bevilacque han sido de particular importancia. Espero que muchos otros, demasiados para que pueda mencionarlos aquí, sepan lo agradecido que estoy con ellos.

Tengo una gran deuda con los maestros que me permitieron conocer la historia y la filosofía de la ciencia. Estoy particularmente agradecido con el profesor Wallis A. Suchting, antes en la Universidad de Sídney; sus estándares académicos y el alcance de sus conocimientos son un modelo a seguir para todos los que tuvimos la suerte de ser sus alumnos. El profesor Abner Shimony, de la Universidad de Boston, me dio a conocer los escritos de Galileo, y los profesores Robert S. Cohen y Marx W. Wartofsky, también de la Universidad de Boston, me ayudaron a situar la ciencia y la filosofía de la ciencia en un contexto social e histórico más amplio. También estoy agradecido con el doctor Bill Andersen, antes en la Universidad de Sídney, mi primer maestro de filosofía de la educación, que estuvo entre quienes animaron a un joven e ingenuo estudiante de ciencia a identificar y tratar los problemas filosóficos en educación.

Mis patrones, la Universidad de Nueva Gales del Sur y la Universidad de Auckland, hicieron posible este libro. La biblioteca de la Universidad de Nueva Gales del Sur es una cornucopia de materiales sobre la enseñanza de la ciencia y la historia y la filosofía de la ciencia. La Universidad de Auckland fue un jefe generoso y comprensivo durante los dos años que pasé allí como profesor Foundation de enseñanza de la ciencia; fue gracias a esto que pude terminar de escribir la presente obra.

Algunos amigos han tenido la amabilidad de leer la penúltima versión del manuscrito y de sugerir correcciones y ofrecerme valiosos consejos. Les estoy muy agradecido a los doctores Michael Howard, Peter Slezak, Colin Gauld, Wallis Suchting, Richard Thorley, Fabio Bevilacqua, Harvery Siegel y James Wandersee. Su erudición y su atención a los detalles le han ahorrado a los lectores mis más crasos errores. Jan Duncan ha sido de gran ayuda para corregir las pruebas, revisar las referencias y preparar las imágenes.

Para terminar, le agradezco a Gill Kent, el revisor de Routledge, por su meticulosa atención al detalle. Gracias a su cuidadoso trabajo el libro está mucho más limpio y redondo.

I. LA RECONCILIACIÓN ENTRE LA HISTORIA, LA FILOSOFÍA Y LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

La ciencia es la rama del conocimiento que más ha contribuido a nuestra comprensión del mundo natural y social, y gracias a sus vínculos con la religión, las visiones del mundo, las economías y las tecnologías también ha sido una influencia fundamental en nuestra cultura. La producción de alimentos, la medicina, el entretenimiento, la guerra, la industria, la reproducción, el transporte, el hospedaje, la religión, la exploración espacial, las formas en las que las personas se entienden a sí mismas y sus visiones del mundo —su sentido de pertenencia al universo y a la naturaleza— se han visto profundamente afectadas por la ciencia, en general para bien, a veces para mal. Comprender el equilibrio entre todas estas cosas es de enorme importancia, y dicha comprensión sólo es posible si se conoce la historia y la filosofía de la ciencia. Este capítulo mencionará algunos de los elementos que conforman la reconciliación actual entre la historia, la filosofía y la enseñanza de la ciencia, que podemos llamar componentes del "programa HFC&EC". Éstos incluyen:

- la relación particular que los historiadores y los filósofos entablan con problemas teóricos, curriculares y pedagógicos de la enseñanza de la ciencia;
- la popularización de la educación liberal y la toma de conciencia sobre cuáles son los componentes históricos y filosóficos necesarios para esta educación;
- el reconocimiento de que la filosofía básica es indispensable para lograr una buena enseñanza técnica de la ciencia;
- la certeza de que la historia y la filosofía de la ciencia pueden contribuir a atenuar algunos de los problemas generalizados y bien conocidos de la enseñanza de la ciencia;
- el reconocimiento de que la historia y la filosofía de la ciencia son una condición necesaria para lograr cualquier efecto de "derrama" de conocimientos, desde el aprendizaje de la ciencia hacia la solución de problemas importantes en la vida social y personal;
- la certeza de que el conocimiento de la historia y la filosofía de la ciencia es fundamental para lograr los requisitos explícitos de muchos planes de estudio de ciencia nacionales y estatales.

LOS FILÓSOFOS Y LOS HISTORIADORES ENTABLAN RELACIONESCON LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

Hace 35 años Robert Ennis hizo una meticulosa revisión de la bibliografía disponible por entonces sobre temas de filosofía de la ciencia y enseñanza de la ciencia. En esta revisión menciona seis preguntas que los maestros de ciencia se encuentran continuamente en las aulas y en los salones de maestros, preguntas sobre las cuales las reflexiones e investigaciones de los filósofos y los historiadores de la ciencia pueden arrojar luz. Las preguntas son:

- ¿Qué caracteriza el método científico?
- ¿En qué consiste la reflexión crítica sobre las afirmaciones empíricas?
- ¿Cuál es la estructura de las disciplinas científicas?
- ¿Qué es una explicación científica?
- ¿Qué papel desempeñan los juicios de valor en el trabajo de los científicos?
- ¿Qué constituye una buena prueba de comprensión científica?

Estas preguntas son una preocupación permanente de los maestros de ciencia y de los programas de formación de estos maestros. Sin embargo, Ennis hace la melancólica observación de que "con algunas excepciones, los filósofos de la ciencia no han mostrado mucho interés explícito en los problemas de la enseñanza de la ciencia" (Ennis, 1979, p. 138). Afortunadamente, en décadas recientes ha habido cierta reconciliación entre estos campos. Tanto la teoría de la enseñanza de la ciencia como, notablemente, los planes de estudio de ciencia y la pedagogía del aula cada vez reciben más influencia de la historia y filosofía de la ciencia. (Nos referiremos a todos estos temas como historia, filosofía y enseñanza de la ciencia.) Este libro contribuye a la historia, filosofía y enseñanza de la ciencia al:

- delimitar los argumentos que se usan para defender el papel de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de la ciencia;
- revisar la historia de los planes de estudio de historia en la escuela para comparar las afirmaciones de la enseñanza de la ciencia basada en la historia y la filosofía de la ciencia con otros enfoques de la pedagogía de la ciencia;
- estudiar los éxitos y los fracasos de los esfuerzos previos por poner la historia y la filosofía de la ciencia en contacto más estrecho con los programas de ciencia;
- desarrollar algunos estudios de caso en los que pueda evaluarse el contraste entre la historia y la filosofía de la ciencia y los enfoques "profesionales" o "técnicos" de la enseñanza de la ciencia y del desarrollo de currículos;
- examinar algunos ejemplos de debates educativos importantes sobre la educación de la ciencia —constructivismo, feminismo, multiculturalismo, visiones del mundo y naturaleza de la ciencia— que pueden ser aclarados por la historia y la

filosofía de la ciencia y abrevar de ella;
- resumir la contribución que puede hacer la historia y la filosofía de la ciencia para la formación de los maestros de ciencia.

Se espera que el libro estimule el interés de historiadores y filósofos de la ciencia en temas de enseñanza, y que en el caso de los maestros de ciencia, y en particular en los formadores de estos maestros, despierte interés por temas históricos y filosóficos.

Cuando Ennis escribió su libro, a finales de la década de 1970, las excepciones entre los historiadores y filósofos de la posguerra que habían escrito sobre educación de la ciencia incluían a Michael Martin, que publicó una serie de artículos (1971, 1974, 1986/1991) y escribió un libro bastante popular, *Concepts of Science Education* [Conceptos de enseñanza de la ciencia, 1972] sobre la filosofía y la enseñanza de la ciencia. Otros filósofos e historiadores de la ciencia que escribieron sobre el tema hace 40 años incluyen a Stephen Brush (1969), Robert Cohen (1964), Yehuda Elkana (1970), Herbert Feigl (1955), Philipp Frank (1947/1949), Gerald Holton (1975, 1987), Noretta Koertge (1969), Enrst Nagel (1969, 1975) e Israel Scheffler (1973). Afortunadamente, esta situación de relativo abandono filosófico e histórico ha cambiado, y en las últimas décadas muchos filósofos[1] y los historiadores[2] de la ciencia se han ocupado de algunos de los incontables problemas teóricos, curriculares y pedagógicos de la enseñanza de la ciencia.

La relación que han entablado los filósofos y los historiadores con la enseñanza de la ciencia puede verse en distintas contribuciones a los números monográficos de la revista *Science & Education*[3] y en contribuciones a antologías como *History, Philosophy and Science Teaching* [Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia, Matthews, 1991], *Science, Worldviews and Education* [Ciencia, visiones del mundo y educación, Matthews, 2009], *Epistemology and Science Education* [Epistemología y enseñanza de la ciencia, Taylor y Ferrari, 2011] y *Philosophy of Biology: A Companion for Educators* [Filosofía de la biología: Una guía para educadores, Kampourakis, 2013], así como en el *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* [Manual internacional de investigación en historia, filosofía y enseñanza de la ciencia, Matthews, 2014].

Las seis preguntas que identificó Ennis son perennes, pero no agotan el campo de temas de acción de la historia, la filosofía y la enseñanza de la ciencia, como puede comprobarse fácilmente al leer los títulos de los artículos antes citados. Los filósofos han hecho contribuciones útiles a los problemas pedagógicos, a las discusiones curriculares y al debate acerca de los siguientes asuntos teóricos: las críticas feministas de la ciencia, la ciencia y el multiculturalismo, la evaluación de la teoría constructivista, la ética ambiental, la naturaleza de la ciencia, la ciencia y la religión, etc. Una de las tesis de este libro es que para los maestros no se trata de problemas extracurriculares o accesorios: la filosofía de

la ciencia es parte de la urdimbre de la enseñanza de la ciencia, y los estudiantes adquieren o "contraen" la filosofía de la ciencia mediante el contacto con sus maestros. El tema es con cuánta claridad se reconoce que esto sucede, y qué tan explícitamente se tratan los problemas filosóficos. Resulta claro que todas estas discusiones mejoran con las contribuciones de la filosofía y la historia; de hecho, es imposible mantener una discusión informada e inteligente de todos los temas teóricos citados sin ayuda de la historia y la filosofía de la ciencia.

Este libro fue escrito con la convicción de que la filosofía de la ciencia debe estar familiarizada con la historia de la ciencia, y viceversa: “La filosofía de la ciencia sin historia de la ciencia está vacía; la historia de la ciencia sin filosofía de la ciencia está ciega”, como dijo Imre Lakatos, de forma inolvidable, sobre el tema (Lakatos, 1978, p. 102). Esta postura se contrapone a la de quienes piensan que la filosofía ocupa una posición autónoma, por ejemplo Hans Reichenbach, que expresó esta opinión en su clásica distinción entre los contextos de descubrimiento y los contextos de justificación en ciencia. Para Reichenbach, la filosofía sólo se ocupa del contexto de la justificación, mientras que la historia, la sociología y la filosofía se ocupan del contexto del descubrimiento (Reichenbach, 1938).

Se debate mucho cuál es la relación exacta entre la historia y la filosofía de la ciencia, y los expertos discrepan sobre qué tan necesaria es la primera para la segunda. En cierto momento, Hilary Putnam llegó a decir que la historia de la ciencia es “irrelevante” para la filosofía de la ciencia (Suppe, 1977, p. 437). Hasta el mismísimo Rudolf Carnap, el influyente filósofo positivista de la ciencia, dijo sobre sí mismo que “era la persona con la mentalidad menos histórica que pudiera imaginarse” (Suppe, 1977, p. 30). Willard van Orman Quine, alumno de Carnap, dijo lo mismo; su influyente trabajo epistemológico está totalmente despojado de referencias históricas (Quine, 1960).

Por el otro lado, para quienes esperan mantener la historia de la ciencia separada de la filosofía surgen preguntas del tipo: ¿cómo identificamos qué es historia de la ciencia sin algunos supuestos filosóficos? ¿Cómo separamos la historia de la ciencia útil de la inútil sin alguna idea previa de cuál es el método correcto? Parece que antes de escribir una historia de la ciencia debemos saber qué cuenta como ciencia; sin esa perspectiva elemental presumiblemente podemos investigar lo mismo astrología, numerología y filatelia que química o geología.

Como sucede con muchas preguntas que buscan una solución unívoca, la respuesta se encuentra en algún lugar intermedio. La relación entre la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia tiene que ser interactiva. Existen muchos ejemplos de historias de la ciencia que se escriben al servicio de compromisos filosóficos, políticos y religiosos. Resulta notable que Galileo se haya convertido en un “hombre para todos los gustos filosóficos” (Crombie, 1981), puesto que todos los metodólogos descubren que Galileo siguió la metodología favorita de cada uno de ellos. Así, la historia está manipulada, en el mejor de los casos, y la historia de la ciencia pierde su oportunidad de refinar o de cambiar sus compromisos filosóficos. La historia que narra Thomas Kuhn sobre su propia transformación filosófica, que ocurrió gracias a que se vio obligado a dictar en Harvard un curso para público general, es un ejemplo bien conocido de la forma en que la historia transforma a la filosofía. Se necesita la filosofía para empezar a escribir

historia, pero ésta debería ser capaz de verse transformada por el estudio histórico.[4]

Este debate sobre el lugar de la historia es característico de muchos problemas en la filosofía de la ciencia; sería temerario afirmar que están resueltas las disputas sobre el realismo, el empiricismo, la causalidad, la explicación, la idealización, la verdad, la falsación y la racionalidad. Pero sí hay consenso sobre algunas de las cosas que se refieren a la interacción entre la filosofía y la historia. Resulta evidente que la historia de la ciencia debería emplearse para ilustrar las posturas a las que se ha llegado en filosofía de la ciencia. Sería raro encontrarse con una exposición sobre la naturaleza de la ciencia, la evaluación de teorías o los compromisos ontológicos de la ciencia que no hiciera mención de Galileo, Newton, Kepler, Lavoisier, Darwin, Mendel, Mach o Einstein y de las controversias científicas que engendraron. Desgraciadamente, con demasiada frecuencia las clases de filosofía de la ciencia descuidan la historia de la ciencia. Por lo general, los alumnos leen acerca de los debates sobre la metodología de la ciencia de los que se ocupan Carnap, Nagel, Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, Laudan, van Raassen y otros autores, pero deben aceptar sus interpretaciones históricas opuestas sobre Aristóteles, Galileo, Huygens y Newton como un acto de fe; los alumnos se convierten en espectadores de un juego académico. Un curso que debería servir para promover la apreciación de la tradición científica y la reflexión profunda sobre el tema puede convertirse, en ausencia de la historia, en un catecismo. Esto resulta particularmente extraño en un entorno educativo en el que los maestros y los alumnos de ciencia han oído sobre todas estas personas famosas y esperan que su trabajo aparezca mencionado en cualquier discusión sobre la naturaleza de la ciencia u otros asuntos filosóficos provocados por la ciencia.[5] Esto es lo que se llama *Bildung* en la tradición europea.

La reconciliación actual entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de la ciencia representa, en parte, un renacimiento de la largamente marginada tradición liberal, o contextual, de la enseñanza de la ciencia, a la que durante los últimos 100 años han contribuido científicos y educadores como Ernst Mach, Pierre Duhem, Alfred North Whitehead, Frederick W. Westaway, E. J. Holmyard, Percy Nunn, James Conant, Joseph Schwab, Martin Wagenschein, Walter Jung y Gerald Holton. En su nivel más general, la tradición liberal de la enseñanza sigue los ideales aristotélicos de la verdad, la bondad y la belleza como los valores que las personas deberían cultivar en sus respectivas esferas. Es decir, en los asuntos intelectuales debe buscarse la verdad, en los asuntos morales la bondad y en los asuntos artísticos y creativos, la belleza. La educación debe contribuir a estos fines: debe fomentar la adquisición de conocimientos de una persona, sus opiniones y comportamientos morales y sus sentimientos y capacidades estéticos. Para los pedagogos liberales, la educación es más que preparar para el trabajo; la educación es valiosa porque contribuye al desarrollo cognitivo y moral tanto de los individuos como de su cultura.

La tradición liberal tiene varios compromisos educativos.[6] Uno es que la educación entraña presentarle a los niños las mejores tradiciones de su propia cultura, incluidas las disciplinas académicas, en forma tal que comprendan las afirmaciones y las teorías de una disciplina específica y conozcan algo sobre la disciplina misma: su metodología, sus supuestos, sus limitaciones, su historia, etc. Un segundo compromiso es que, en la medida de lo posible y de forma apropiada para la edad, deberían reconocerse e investigarse las relaciones mutuas entre temas particulares y también su relación con el entramado de la ética, la religión, la cultura, la economía y la política. La tradición liberal busca imponerse a la fragmentación intelectual. Un tercer compromiso es que la educación debe llevarse a cabo de forma ética, y esto se aplica tanto al aula en particular como a la gestión institucional de la escolaridad. La ética tiene un alcance tanto proximal como distal.

La tradición liberal sostiene que la enseñanza de la ciencia no debería ser únicamente una educación o capacitación *en* ciencia, aunque por supuesto debe serlo, sino también una educación *sobre* ciencia. Los alumnos de ciencia deberían ser capaces de apreciar los métodos científicos, su diversidad y sus limitaciones. Deberían tener cierta idea sobre los temas metodológicos, por ejemplo cómo se evalúan las teorías científicas, cómo se valoran las teorías opuestas, qué tan común es la controversia en ciencia y qué papel desempeñan la argumentación y el debate científicos en la solución de estas controversias; también deberían poder apreciar las relaciones que existen entre los experimentos, las matemáticas y los compromisos religiosos, filosóficos e ideológicos y

cómo contribuyen al desarrollo de la ciencia. Todos los alumnos, sigan o no una carrera científica, deberían saber algo sobre los grandes episodios en el desarrollo de la ciencia y, por lo tanto, de la cultura: la desmitificación del mundo; la expulsión copernicana de la Tierra del centro del sistema solar; el desarrollo de la ciencia experimental y matemática asociada con Galileo y Newton; la demostración de Newton de que las leyes terrestres de atracción operaban también en el reino celeste; la histórica teoría de la evolución de Darwin y sus reivindicaciones de una comprensión naturalista de la vida; el descubrimiento de Pasteur de las bases microbianas de la infección; las teorías de la gravedad y la relatividad de Einstein, y el descubrimiento del código del ADN y la investigación sobre las bases genética de la vida.[7] Deberían poder entender, según su edad, los factores intelectuales, técnicos, sociales y personales que contribuyeron a estos logros monumentales.

Como es natural, todas estas metas para la educación en general, y para la enseñanza de la ciencia en particular, requieren que se integre la historia y la filosofía de la ciencia en el currículo de ciencia de las escuelas y en los programas de formación de maestros. Como desarrollaremos en el capítulo XII, los buenos maestros de ciencia, y de hecho de todas las disciplinas, necesitan saber algo sobre la historia y la filosofía de las áreas que enseñan y ser capaces de entusiasmar a sus alumnos con estas dimensiones de su tema.

La reconciliación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de la ciencia no depende solamente de poseer una comprensión liberal de esta última: una buena educación científica técnica también requiere cierta integración de la historia y la filosofía en el programa. Saber ciencia implica conocer los hechos, las leyes y las teorías científicas: los productos de la ciencia; también entraña conocer los procesos de la ciencia, es decir las formas sociales, técnicas e intelectuales en las que se desarrolla la ciencia y pone a prueba lo que afirma conocer. La historia y la filosofía de la ciencia es importante para comprender estas destrezas procedimentales. La enseñanza técnica —o "profesional" o "disciplinaria", como se le llama a veces— es mejor cuando los alumnos conocen el significado de los términos que usan; si pueden pensar en forma crítica sobre textos, reportes y sobre su propia actividad científica; si pueden dilucidar la forma en la que ciertas evidencias tienen o no que ver con la hipótesis que se busca probar; si pueden representar los datos y pasar de los datos a los fenómenos en forma inteligente y cuidadosa, y si pueden discutir, argumentar y proponer ideas entre sus colegas. Estas habilidades científicas se enriquecen si los alumnos han leído ejemplos de investigaciones bien fundamentadas, experimentos ingeniosos, hipótesis perspicaces y debates ejemplares sobre la evaluación y la puesta a prueba de las hipótesis. Al terminar la segunda Guerra Mundial, Alfred North Whitehead escribió, sobre lo que constituye una buena educación técnica: "La antítesis entre una educación técnica y una liberal es una falacia. No puede haber una educación técnica adecuada que no sea liberal, y ninguna educación liberal que no sea técnica: es decir, una educación que no imparta una perspectiva tanto técnica como intelectual" (Whitehead, 1947, p. 73).

Enseñar la ley de Boyle sin reflexionar sobre lo que significa "ley" en ciencia, sin considerar qué constituye una evidencia en ciencia, y sin prestar atención a quién era Boyle, cuándo vivió y qué hizo, es enseñar de una forma lamentablemente truncada. La acción educativa puede aprovecharse mucho más que para sólo enseñar o para ayudar a los alumnos a descubrir que, para un gas dado, a una temperatura constante, la presión multiplicada por el volumen es una constante. Ya es algo, pero puede hacerse mucho más. Del mismo modo, resultaría muy limitado enseñar la teoría de la evolución darwiniana sin reflexionar sobre la teoría y la evidencia, el papel del razonamiento inductivo, deductivo y abductivo, la vida y la época de Darwin y las controversias religiosas, literarias y filosóficas que suscitó su teoría. Los alumnos que realizan e interpretan experimentos necesitan saber un poco sobre la forma en la que la descripción de los datos depende de la teoría, qué relación tiene la evidencia con los fundamentos inductivos o las falsaciones deductivas de las hipótesis, cómo se vinculan en ciencia los casos reales con los casos ideales, el modo en el que las caóticas "experiencias vividas" se relacionan con las teorías científicas abstractas e idealizadas, y una multitud de temas

más, todos relacionados con problemas filosóficos o metodológicos. La ciencia tiene una historia compleja e importante y está repleta de ramificaciones filosóficas y culturales. La enseñanza de la ciencia debería acercar a los alumnos a parte de esta riqueza, y ponerlos en contacto con algunos de los grandes temas que han obsesionado a los científicos. Si estos problemas se consideran extracientíficos o intracientíficos no es, en términos pedagógicos, demasiado importante.

En todo el mundo se reconoce que existen problemas en la enseñanza de la ciencia. La enseñanza ortodoxa, técnica, descontextualizada no está cumpliendo su tarea de entusiasmar a los alumnos o de promover el conocimiento y la apreciación de la ciencia entre la población en general. Existe una crisis bien documentada en la enseñanza contemporánea de la ciencia que resulta evidente en el abandono, tanto de maestros como de alumnos, del aula de ciencia y en las desastrosas cifras de analfabetismo científico en el mundo occidental. Esta situación ha obligado a repensar y reformar los planes de estudio nacionales y las políticas de enseñanza de la ciencia en el mundo.

La fuga de la ciencia

En Estados Unidos, estos esfuerzos por reformar los programas educativos tienen 30 años de historia.[8] Hace dos décadas, 70% de los alumnos en Estados Unidos eliminaban la ciencia de su programa a la primera oportunidad que encontraban. La American National Science Foundation (NSF) aseveró que "los programas nacionales de licenciatura para las carreras de ciencia, matemáticas y tecnología se han deteriorado en calidad y en alcance a tal grado que ya no cumplen las necesidades nacionales. Se ha erosionado un recurso estadunidense único" (Heilbron, 1987, p. 556). Algunos reportes recientes sobre la matriculación en los programas universitarios de ciencia en Estados Unidos son igual de pesimistas (Ashby, 2006). El National Research Council (NRC) dice, en sus Next Generation Standards [Estándares de nueva generación], que

> Estados Unidos tiene una tubería de talentos que gotea en las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM), pues muy pocos alumnos entran a las especialidades y a las carreras de STEM en todos los niveles […] Necesitamos nuevos estándares de ciencia que estimulen y construyan el interés en las áreas de STEM [NRC, 2013].

En Europa, los esfuerzos políticos y educativos han dado como resultados iniciativas de reforma igual de ambiciosas. Un reporte de la Comisión Europa de 1995 dijo que:

> La enseñanza tradicional de la ciencia, cuyo objetivo es conseguir el dominio de un estricto orden lógico, del sistema deductivo, de conceptos abstractos entre los que prevalecen las matemáticas, parece paralizar a quien aprende, lo convierte en un sujeto pasivo y sofoca su imaginación [CE, 1995, en Dibattista y Morgese, 2014].

Un reporte de 2004 de la Comisión Europea, que reconocía el fracaso de la enseñanza de la ciencia y el abandono de la ciencia, llevaba el contundente título de "Europa necesita más científicos" (CE, 2004). Al año siguiente, la Comisión encargó una encuesta en toda Europa que reveló que 50% de los adultos pensaban que sus clases de

ciencia en la escuela no habían sido "suficientemente atractivas", e instó a realizar cambios curriculares y pedagógicos que rectificaran los problemas de alfabetismo científico y falta de vinculación con la ciencia.[9]

Alfabetismo científico

Si se factoriza la cantidad de dinero y de recursos estatales y privados que recibe la enseñanza de la ciencia, los niveles de alfabetismo científico de los adultos resultan deprimente (Roberts, 2007; Shamos, 1995). Durante cuatro décadas, Jon D. Miller y sus colegas han realizado una serie de estudios de gran escala sobre el alfabetismo científico en Estados Unidos, patrocinados por la NSF (Miller, 1983, 1987, 1992, 2007). Para Miller, el alfabetismo se mide en dos dimensiones: el conocimiento de los contenidos de la ciencia y el de sus procesos. La primera incluye conocimiento básicos sobre el significado de conceptos tales como "átomo", "gravedad", "gen", etc., un conocimiento factual básico. En la segunda, el alfabetismo requiere ciertos conocimientos sobre cómo funciona la ciencia, qué significa estudiar algo de forma científica y conocer algunos hechos básicos sobre los experimentos y la comprobación de hipótesis. En 1985, concluyó que sólo 3% de los graduados de preparatoria, 12% de los graduados de universidad y 18% de los graduados de doctorado estaban científicamente alfabetizados. Entre las afirmaciones que le presentó a una muestra representativa de 2 000 adultos para que respondieran si eran verdaderas o falsas se encuentran: "Los primeros humanos vivieron al mismo tiempo que los dinosaurios" y "los antibióticos matan tanto virus como bacterias". Sólo 37% de la muestra respondió correctamente en el primer caso, y 26% en el segundo. Concluyó que entre 5 y 9% de los ciudadanos de Estados Unidos estaban científicamente alfabetizados (Miller, 1992, p. 14). En 2005, extendió el muestreo a 34 países; afortunadamente el alfabetismo científico en Estados Unidos subió a 28%, pero sólo un país, Suecia, registró una tasa de alfabetismo científico en adultos superior a 30% (Miller, 2007).[10]

Por supuesto, existen diversos argumentos sobre qué constituye el alfabetismo científico[11] y por qué los ciudadanos y los funcionarios educativos deben preocuparse por los niveles bajos —y en descenso— de alfabetismo científico. Las razones estándares han sido hasta ahora:

- *Culturales:* La ciencia, como la música y el arte, es una parte importante de nuestra herencia cultural y por lo tanto debemos conocerla;
- *Vocacionales:* La ciencia, como las matemáticas y las habilidades computacionales, es indispensable para una gama cada vez mayor de ocupaciones contemporáneas, y por lo tanto hay que dominarla;

- *Disciplinarias:* Si no se extienden algunas nociones científicas básicas no existirá un conjunto suficientemente grande de alumnos que se decidan por emprender una carrera en ciencia, o un público que apoye la idea de que sus impuestos se destinen a financiar la investigación en disciplinas científicas;
- *Ambientales:* La gente debería saber algo sobre los habitantes, la conformación y los procesos propios de los mundos físicos y biológicos naturales en los que viven, y que deben conservarse;
- *Utilitarias:* El conocimiento científico es útil para un sinnúmero de tareas y decisiones cotidianas.

La última razón remite a la "ciencia de las cosas cotidianas" que alguna vez dominó las decisiones curriculares, una idea que está haciendo su reaparición y que es tal vez la justificación más común para promover el alfabetismo científico y fomentar la obligatoriedad de las clases de ciencia en la escuela. Como aventuraron dos sociólogos de la ciencia, la enseñanza de la ciencia es útil porque ayuda a saber, entre otras cosas, "en qué parte del horno poner un soufflé" (Collins y Pinch, 1992, p. 150). Sin embargo, las investigaciones sugieren que conocer sobre las disciplinas científicas tiene poco o nada que ver con las decisiones cotidianas que tomamos en las cocinas, los supermercados, la calle, los hospitales y casi cualquier otro lugar, incluso cuando implican resolver problemas explícitamente sociocientíficos.[12]

Está claro que los planes de estudio y la enseñanza en las aulas inspirados en la historia y la filosofía de la ciencia no son las únicas soluciones para estos "problemas" de la enseñanza de la ciencia, pero sin duda pueden hacer que el tema sea más "atractivo", más interesante y que esté más vinculado con otros que están aprendiendo los alumnos, como matemáticas, historia, filosofía, religión, etc. Que no resulte evidente de inmediato cómo usar ese conocimiento en la cocina no es un inconveniente grave; buena parte de la ciencia "estándar" tampoco resulta útil en el momento. Más allá de servir para mejorar la enseñanza de la ciencia, un programa de estudios inspirado en la historia y la filosofía de la ciencia puede tener impactos notables en las visiones personales del mundo y en las ideas de la gente sobre la religión y la cultura. Estos impactos no son inútiles.

Las cifras que se refieren al analfabetismo científico son doblemente deprimentes, puesto que no sólo indican que hay grandes porcentajes de la población que no conocen el significado de conceptos científicos básicos, y por lo tanto tienen poca o nula idea sobre cómo funciona la naturaleza; este analfabetismo también está vinculado con un pensamiento anticientífico e ilógico generalizado. Las encuestas de Gallup muestran sistemáticamente que cerca de una tercera parte de los estadunidenses cree en fantasmas, telepatía, posesión demoniaca, poderes psíquicos y una amplia gama de ideas desacreditadas y peligrosas (Gallup y Newport, 1991). Hay mucha más gente que lee los horóscopos del periódico que las columnas de ciencia; la prensa amarillista, llena de avistamientos de Elvis y visitas de marcianos, adorna los mostradores de las tiendas y es consumida por millones de personas cada día. Hay una infinidad de páginas de internet y de anuncios en los directorios de páginas amarillas que ofrecen servicios tales como terapia astrológica, lectura de mano, lectura de aura, interpretaciones de vidas pasadas, alineaciones de feng shui, progresiones de vidas futuras, encuentros con extraterrestres, clarividencia, lectura de tarot y toda una gama de creencias igualmente desencaminadas y erróneas.[13]

Es una lástima que con frecuencias estas creencias "alternativas" se asocien con la labor artística. Las comunidades con mayores concentraciones de artistas son también las que tienen mayor presencia de practicantes del *new age.* La única ciudad en el estado australiano de Nueva Gales del Sur que rechazó la fluoración del agua fue la comunidad artística de Byron Bay. En Arizona, la ciudad de Sedona es merecidamente famosa por tener montones de galerías de arte y cientos de artistas, pero también está inundada de comerciantes de toda clase de terapias y tratamientos ocultistas y psíquicos. Todo está a la venta: sanación de los chacras, cura con cristales, acupuntura espiritual, terapia de vidas pasadas, análisis de cartas tao, sesiones con gurús, etc. Y existen líneas especiales de energía cósmica en las que, con sólo pagar una cuota, la gente puede sentarse en su nodo o vórtice personal preciso y absorber la energía por ósmosis.[14] Uno de esos cientos de negocios alternativos asegura "haber descubierto algunos de los campos de energía (fenómenos vortex) más concentrados en el área de Sedona para reconectarte con el sustento energético de los CEMN (campos electromagnéticos naturales) de la Madre Tierra".

De los miles de personas que cada año les pagan en Sedona a los charlatanes y los proveedores de absurdos, la mayor parte ha estudiado ciencia en la preparatoria. Una de las tareas de este libro será entender cómo la ciencia escolar "ortodoxa" permite este nivel de credulidad, y cómo una ciencia en la escuela inspirada por la historia y la filosofía de la ciencia podría hacer que la gente estuviera más informada y fuera más

escéptica y más resistente al absurdo. La ciencia ofrece suficiente "misterio", asombro y metafísica, si se enseña bien.

Cuando el pensamiento se disocia a tal grado de las restricciones racionales, puede esperarse que ocurra una cascada de racismos, prejuicios, histerias y fanatismos de todas clases. Con todo y sus defectos, la ciencia ha sido un factor importante en la lucha contra la superstición, el prejuicio y la ignorancia. Nos ha proporcionado, si bien en forma vacilante, una fuerza que permite contrarrestar la tendencia natural de las personas a juzgar las circunstancias en términos de sus propias experiencias e intereses. Cuando la gente abandona en masa la ciencia, o la enseñanza de la ciencia la abandona a ella, el mundo se sitúa en un punto crítico. En esos momentos el papel del maestro de ciencia es especialmente vital y requiere todo el apoyo intelectual y material posible.

Nadie cree que la educación científica técnica pueda contrarrestar por sí sola la marea de creencias personales y culturales cuestionables, si no es que totalmente absurdas, en que estamos inmersos. Existen muchas evidencias de que incluso alcanzar capacidades técnicas de alto nivel en ciencia es congruente con creencias ridículas y muy arraigadas. Por ejemplo, sir Oliver Joseph Lodge (1851-1940) fue un eminente físico experimental británico que contribuyó a la joven ciencia de la transmisión por radio y creó la primera bujía para automóviles, y sin embargo durante toda su vida albergó creencias espiritistas sobre la vida después de la muerte y la habilidad de los médium para conectarse con los muertos durante las *séances* o reuniones espiritistas.[15] El sitio web del First Spiritual Temple dice sobre Lodge:

> Sir Oliver buscó unir el mundo trascendental con el universo físico. Afirmó, con gran convicción, que la vida es la esencia suprema e imperecedera en el universo; que ocupa los vastos espacios interestelares, y que la materia de la que está compuesto el mundo físico es una condensación particular del éter con el propósito de manifestar la vida en una forma consciente e individual [www.fst.org/lodge.htm].

A 100 años de las poco esclarecedoras cavilaciones de Lodge, Edgar Dean Mitchell, el astronauta de la NASA que fue la sexta persona que caminó sobre la Luna tras pilotear la nave Apolo 14, doctor en ciencias e ingeniería por el MIT, tuvo una constelación similar de creencias "extracientíficas". Mitchel afirmó que, en su camino de regreso de la Luna, tuvo una experiencia *savikalpa samadhi,* durante la cual su alma absorbió el fuego del espíritu-sabiduría que "chamusca" o destruye las semillas de las predisposiciones corpóreas. Tras esta experiencia, al regresar a la Tierra llevó a cabo con sus amigos experimentos de percepción extrasensorial en pleno vuelo. Estos experimentos se publicaron en el *Journal of Parapsychology.* Mitchell cree que un sanador a distancia, Adam Dreamhealer (algo así como Adam Curador en Sueños, en español) curó su cáncer de riñón por teléfono. También cree en OVNIs y en visitas interplanetarias, y que ha tenido encuentros personales con estos extraterrestres.

Hay cientos de miles, si no es que millones, de Lodges y de Mitchells para los cuales

una educación científica de primera parece haber tenido poco efecto de derrame sobre el resto de sus creencias. Éste es un problema particular para quienes creen que la enseñanza de la ciencia debería tener impactos benéficos sobre la vida personal de los alumnos y en el progreso de la cultura en general. Era lo que esperaban los filósofos y los educadores de la Ilustración; era la esperanza de John Dewey, y es la expectativa de la American Association for the Advancement of Science (AAAS), que mantiene que

> La persona científicamente alfabetizada sabe que la ciencia, las matemáticas y la tecnología son iniciativas humanas interdependientes, con sus propias fortalezas y limitaciones; comprende conceptos y principios clave de la ciencia; está familiarizada con el mundo natural y reconoce tanto su diversidad como su unidad, *y emplea el conocimiento científico y las formas científicas de pensar con propósitos tanto individuales como sociales* [AAAS, 1989, p. 4, cursivas mías].

En su *Benchmarks for Science Literacy* [Estándares para el alfabetismo científico], la AAAS afirma que la educación debe "preparar a los alumnos para que se abran camino en el mundo real, un mundo que está lleno de problemas: en casa, en el lugar de trabajo, en la comunidad, en el planeta" (AAAS, 1993, p. 282).

La contribución única del programa de la ciencia a esta meta educativa, más general, de ayudar a resolver problemas y mejorar la sociedad, es la de cultivar y refinar los hábitos mentales científicos. Se espera que estos hábitos "se derramen" desde los laboratorios hasta los hogares, los lugares de trabajo, la comunidad y el planeta. Para la AAAS, los problemas "planetarios" más ubicuos no son únicamente materiales —son sociales, culturales e ideológicos—, pero la aplicación de unos "hábitos mentales científicos" es necesaria para resolverlos; no se resuelven escuchando a los gurús, jugando con tablas de güija o consultando a los astrólogos. Y sin embargo, uno de los graves problemas de la ciencia es que estos hábitos mentales no suelen cultivarse en los programas escolares.

Esa misma esperanza de motivar efectos de derrama fue la que motivó la decisión de Nehru de incluir en la primera Constitución de la India independiente, como parte de los deberes del Estado, la promoción de un "temperamento científico". Sin embargo, 60 años después, y a pesar de enormes inversiones en la enseñanza de la ciencia y su difusión, estas expectativas no se han materializado. Como mantienen dos académicos indios: "Si uno tuviera que elegir tres o cuatro de las razones más importantes para el atraso o el fracaso del país en muchas áreas, la falta de temperamento científico sería una de ellas" (Bhargava y Chakrabarti, 2010, p. 277).

Como se verá en el capítulo II, esta esperanza ilustrada depende de que la enseñanza de la ciencia adopte la historia y la filosofía de su área; sin este compromiso no hay muchas posibilidades de que aprender ciencia tenga efectos personales, sociales y culturales positivos más allá del salón de clases; de hecho, lo que ocurre es todo lo contrario. Uno de los elementos que permiten la reconciliación actual entre la enseñanza

de la ciencia y la historia y la filosofía de la ciencia es precisamente el reconocimiento de este estado de cosas, lo cual no quiere decir que una educación inspirada en la historia y la filosofía de la ciencia sea suficiente para cumplir los objetivos, pero como dijo Spinoza tan sabiamente, “lo mejor es enemigo de lo bueno”.

A la ciencia no le han faltado críticos. En el siglo XVII, Giambattista Vico (1668-1744) le dio la espalda a la nueva ciencia de Galileo y a las nuevas matemáticas de Descartes en favor de un regreso a la "sabiduría antigua". Más adelante muchos otros críticos, entre ellos los escritores románticos, algunas tradiciones religiosas y varios movimientos contraculturales, han vuelto a colocarse en el lugar de Vico.[16] Filósofos fenomenológicos como Edmund Husserl (1859-1938) criticaron la matematización de la ciencia que inauguró Galileo debido a su incapacidad de aprehender las realidades del mundo (Husserl, 1954-1970). Los filósofos posmodernos han atacado los supuestos universalistas y realistas de la ciencia. El príncipe Carlos, futuro rey de Inglaterra, ha explotado contra Galileo y la tradición científica moderna que inauguró con el argumento de que es materialista, de que nos deshumaniza y de que es "una afrenta a las tradiciones sagradas del mundo".[17] Tras criticar el matrimonio de dos siglos entre la ciencia y el comercio, opinó que

> Este desequilibrio, en el que el pensamiento mecanicista es tan predominante, se remonta al menos hasta la afirmación de Galileo de que no hay nada en la Naturaleza más que la cantidad y el movimiento. Ésta es la perspectiva que sigue estructurando la percepción general sobre cómo funciona el mundo y cómo encajamos nosotros en el orden de las cosas. Como resultado, la Naturaleza ha sido totalmente deshumanizada —"ella" se convirtió en "ello"—, y estamos convencidos de concentrarnos en los aspecto materiales de la realidad que encaja en el esquema galileano.

Los forasteros no son los únicos que critican la ciencia. Glen Aikenhead, maestro canadiense de muchos años y líder internacional en la investigación sobre enseñanza de la ciencia, ha afirmado que "los estudios sociales de la ciencia" revelan que ésta es "mecanicista, materialista, reduccionista, empírica, racional, descontextualizada, matemáticamente idealizada, comunitaria, ideológica, masculina, elitista, competitiva, explotadora, impersonal y violenta" (Aikenhead, 1997, p. 220).

Es imperativo que los maestros de ciencia identifiquen qué de estas críticas es correcto, pero también qué es erróneo. Si las afirmaciones de los fenomenólogos, los posmodernistas, el príncipe Carlos y, supuestamente, los estudios sociales de la ciencia se aceptan *in toto,* entonces los propósitos y las justificaciones estándar de la enseñanza de la ciencia deben abandonarse, de la mano, en el mejor de los casos, de la enseñanza obligatoria de la ciencia. Después de todo, ¿quién quiere que los niños aprendan algo que es explotador, competitivo, violento y que destruye nuestras agradables visiones del mundo? Está claro que evaluar estas afirmaciones requiere saber un poco sobre historia y filosofía de la ciencia, y esto precisamente es a lo que apelan los críticos. Los argumentos de este libro son que la historia y la filosofía de la ciencia puede defender los principios y las prácticas centrales de la ciencia, pero también puede contribuir mucho a mejorar y

reformar los programas y la enseñanza de ciencia, un cambio que se necesita con urgencia.

Gracias a las novedades curriculares que numerosos gobiernos y organismos educativos han instigado en los últimos años, el programa de historia, filosofía y enseñanza de la ciencia disfruta de un gran impulso. Estos avances se documentan con cierto detalle en el capítulo III. Entre ellos se encuentran dos influyentes reportes de la AAAS, *Project 2061* (Proyecto 2061, AAAS, 1989) y *The Liberal Art of Science* [El arte liberal de la ciencia, AAAS, 1990]; el US NRC, con sus *Next Generation Science Standards* [Estándares científicos de nueva generación, NRC, 2013]; el *British National Curriculum Council* (NCC, 1998); el *Science Council of Canada* (SCC, 1984); el programa de ciencia y tecnología de Dinamarca y el programa PLON de los Países Bajos. En todos los casos, la historia y la filosofía de la ciencia no es otra sección o tema más que se añade al plan de estudios de ciencias; lo que se propone es la tesis que defiende este libro, es decir, una incorporación más general de temas de historia y filosofía de la ciencia a los contenidos de los planes.

La AAAS ofrece un buen resumen de las iniciativas curriculares en otras partes del mundo cuando sostiene que:

> Las clases de ciencia deberían ubicar la ciencia en perspectiva histórica. Los alumnos que reciben una educación liberal —tanto quienes cursan una carrera científica como los que no— deberían terminar sus clases de ciencia con una apreciación de la materia como parte de una tradición intelectual, social y cultural […] Las clases de ciencia deben transmitir estos aspectos de la ciencia al hacer hincapié en sus dimensiones ética, social, económica y política [AAAS, 1989, p. 24].

Debería resultar obvio que para poder cumplir los objetivos de todos estos programas tiene que haber contribuciones de la historia y la filosofía de la ciencia en los documentos, los materiales de enseñanza, los instrumentos de evaluación, los libros de texto y la formación de maestros.

CONCLUSIÓN

La ciencia y su tecnología asociada son los rasgos que definen el mundo moderno; que deberíamos entenderlos mejor es una obviedad educativa. Por supuesto, incluir la historia y la filosofía de la ciencia en los programas escolares, en la formación de maestros y en las clases no ofrece todas las respuestas a los problemas de la educación actual; la solución se encuentra en la cultura, la política y la organización económica de las sociedades. Sin embargo, la historia y la filosofía de la ciencia tiene una importante contribución que hacer a la enseñanza y al aprendizaje de la ciencia y, por lo tanto, al florecimiento tanto personal como social. Esta contribución puede desglosarse así:

- La historia y la filosofía de la ciencia pueden humanizar las ciencias y vincularlas con intereses personales, éticos, culturales y políticos. Existe evidencia de que esto vuelve más atractivos los programas de ciencia e ingeniería para los muchos alumnos, en particular mujeres, que actualmente los rechazan.
- La historia y la filosofía de la ciencia, en particular la lógica básica y los ejercicio analíticos —¿esta conclusión se desprende de las premisas?, ¿a qué te refieres cuando dices tal y tal cosa?—, pueden hacer de las aulas lugares más desafiantes, y promover el razonamiento y la habilidad de pensar en forma crítica.
- La historia y la filosofía de la ciencia pueden ayudar a comprender en forma más plena un tema científico: permite superar el "mar de sinsentidos", como lo llamó alguna vez Joseph Novak, en el que se recitan fórmulas y ecuaciones sin tener idea de qué significan o a qué se refieren.
- La historia y la filosofía de la ciencia pueden mejorar la formación de maestros al ayudarles a desarrollar una comprensión más rica y más auténtica de la ciencia y de su lugar intelectual y social en el mundo. Esto tiene un efecto de derrama, puesto que existen muchas evidencias de que la epistemología de los maestros, o sus ideas sobre la naturaleza de la ciencia, afectan la forma en la que dan clases, el mensaje que transmiten a los alumnos y, en última instancia, la epistemología de los alumnos mismos.
- La historia y la filosofía de la ciencia pueden ayudar a los maestros a apreciar los problemas de aprendizaje de los alumnos, porque los alertan sobre las dificultades históricas del desarrollo científico y el cambio conceptual. Galileo se adelantó 40 años a su tiempo cuando formuló el concepto moderno de aceleración; a pesar de que lo pensó mucho, nunca pudo producir una teoría correcta para las mareas. Mediante los estudios históricos los maestros pueden comprobar qué dificultades intelectuales y conceptuales existían en los periodos tempranos de las disciplinas científicas. Este conocimiento puede ayudarlos a organizar el programa de estudios y la impartición de las clases.
- La historia y la filosofía de la ciencia pueden contribuir a evaluar de forma más clara buena parte de los debates educativos que sostienen los maestros de ciencia y los diseñadores de los programas escolares. Muchos de estos debates —sobre

los métodos constructivistas de enseñanza, la educación multicultural de la ciencia, las críticas feministas de la ciencia, la relación entre la ciencia y la religión, la ciencia ambiental, el aprendizaje basado en la investigación, los programas de estudio sobre ciencia, tecnología y sociedad, la enseñanza de temas controversiales, como la evolución, etc.— hacen afirmaciones y conjeturas sobre la historia y la epistemología de la ciencia o la naturaleza del conocimiento humano y su producción y validación. Sin tener al menos ciertos cimientos en la historia y la filosofía de la ciencia, los maestros pueden dejarse llevar por ideas de moda, de esas que "parecían buenas en su momento" pero que tienen la capacidad de sembrar el caos educativo.

AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1989), *Project 2061: Science for All Americans,* Washington, D. C., American Association for the Advancement of Science. Publicado también por Oxford University Press, 1990.

———— (1990), *The Liberal Art of Science: Agenda for Action,* Washington, D. C., American Association for the Advancement of Science.

———— (1993), *Benchmarks for Science Literacy,* Nueva York, Oxford University Press.

Aikenhead, G. S. (1997), "Towards a first nations cross-cultural science and technology curriculum", *Science Education,* vol. 81, núm. 2, pp. 217-238.

Anelli, C. (2011), "Scientific literacy: What it is, are we teaching it, and does it matter?", *American Entomologist,* vol. 57, núm. 4, pp. 235-243.

Ashby, C. M. (2006), *Higher Education: Science, Technology, Engineering, and Mathematics Trends and the Role of Federal Programs,* Washington, D. C., U. S. Government Accountability Office, Education Resources Information Center Document ED 491614.

Bantock, G. H. (1981), *The Parochialism of the Present,* Londres, Routledge & Kegan Paul.

Bevilacqua, F., y E. Giannetto (1996), "The history of physics and European physics education", *Science & Education,* vol. 5, núm. 3, pp. 235-246.

Bhargava, P. M., y C. Chakrabarti (coords.) (2010), *Devils and Science: A Collection of Articles on Scientific Temper,* Nueva Delhi, National Books.

Brock, W. H. (1989), "History of science in British schools: Past, present and future", en M. Shortland y A. Warwick (coords.), *Teaching the History of Science,* Oxford, Basil Blackwell, pp. 30-41.

Brock, W. H., y E. W. Jenkins (2014), "Frederick W. Westaway and science education: An endless quest", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 2359-2382.

Brooke, J. H. (2010), "Darwin and religion: Correcting the caricatures", *Science & Education,* vol. 19, núms. 4-5, pp. 391-405.

Brush, S. G. (1969), "The role of history in the teaching of physics", *The Physics Teacher,* vol. 7, núm. 5, pp. 271-280.

Bunge, M. (2000), "Energy: Between physics and metaphysics", *Science & Education,* vol. 9, núm. 5, pp. 457-461.

———— (2003), "Twenty-five centuries of quantum physics: From Pythagoras to us, and from subjectivism to realism", *Science & Education,* vol. 20, núms. 5-6, pp. 445-446.

———— (2011), “Knowledge: Genuine and bogus”, *Science & Education,* vol. 9, núm. 5, pp. 457-461.

Carrier, M. (2013), “Values and objectivity in science: Value-ladennes, pluralism and the epistemic attitude”, *Science & Education,* vol. 22, núm. 10, pp. 2547-2658.

CE (European Commission) (2004), *Europe Needs more Scientists! Increasing Human Resources for Science and Technology in Europe,* Bruselas. Disponible en: <http://ec.europa.eu/research/conferences/2004/sciprof/pdf/final_en.pdf>.

Chang, H. (2011), “How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: The cases of boiling water and electrochemistry”, *Science & Education,* vol. 20, núms. 3-4, pp. 317-341.

Chapman, B. (1993), “The overselling of science education in the 1980s”, en R. Levinson (coord.), *Teaching Science,* Nueva York, Routledge, pp. 192-207.

Coelho, R. L. (2007), “The law of inertia: How understanding its history can improve physics teaching”, *Science & Education,* vol. 16, núms. 9-10, pp. 955-974.

———— (2009), “On the concept of energy: How understanding its history can improve physics teaching”, *Science & Education,* vol. 18, núm. 8, pp. 961-983.

Cohen, R. S. (1964), “Individuality and common purpose: The philosophy of science”, *The Science Teacher,* vol. 31, núm. 4. Reimpreso en *Science & Education,* vol. 3, núm. 4, 1994.

Collins, H. M., y T. Pinch (1992), *The Golem: What Everyone should Know about Science,* Cambridge, Cambridge University Press.

Cooke, B. (2001), *Joseph McCabe and Rationalism,* Nueva York, Prometheus Books-Amherst.

Cordero, A. (1992), “Science, objectivity and moral values”, *Science & Education,* vol. 1, núm. 1, pp. 49-70.

———— (2009), “Contemporary science and worldview-making”, *Science & Education,* vol. 18, núms. 6-7, pp. 747-764.

Crombie, A. C. (1981), “Philosophical presuppositions and the shifting interpretations of Galileo”, en J. Hintikka, D. Gruender y E. Agazzi (coords.), *Theory Change, Ancient Axiomatics, and Galileo's Methodology,* Boston, Reidel, pp. 271-286, reproducido en A. C. Crombie, *Science, Optics and Music in Medieval and Early Modern Thought,* Londres, The Hambledon Press, 1990, pp. 345-362.

DeBoer, G. E. (2000), “Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings, and its relationship to science education reform”, *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 37, núm. 6, pp. 582-601.

Depew, D. J. (2010), “Darwinian controversies: An historiographical recounting”, *Science & Education,* vol. 19, núms. 4-5, pp. 323-326.

Dibattista, L., y F. Morgese (2014), “Incorporation of history and philosophy of

science and nature of science in school and teacher education programmes in Europe", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 2083-2117.

Elkana, Y. (1970), "Science, philosophy of science, and science teaching", *Educational Philosophy and Theory,* vol. 2, pp. 15-35.

Ennis, R. H. (1979), "Research in philosophy of science bearing on science education", en P. D. Asquith y H. E. Kyburg (coords.), *Current Research in Philosophy of Science,* East Lansing, PSA, pp. 138-170.

Feigl, H. (1995), "Aims of education for our age of science: Reflections of a logical empiricist", en N. B. Henry (coord.), *Modern Philosophy and Education: The Fifty-fourth Yearbook of the National Society for the Study of Education,* Chicago, University of Chicago Press, pp. 304-341. Reimpreso en *Science & Education,* vol. 13, núms. 1-2, 2004.

Feinstein, N. (2011), "Salvaging science literacy", *Science & Education,* vol. 95, pp. 168-185.

Frank, P. (1947-1949), "The place of philosophy of science in the curriculum of the physics student", *American Journal of Physics,* vol. 15, núm. 3, pp. 202-218. Reimpreso en *Modern Science and Philosophy,* Harvard, Harvard University Press, pp. 228-259.

Gallup Jr., G. H., y F. Newport (1991), "Belief in paranormal phenomena among adult Americans", *Skeptical Inquirer,* vol. 15, pp. 137-147.

Grandy, R. E. (1997), "Constructivism and objectivity: Disentangling metaphysics from pedagogy", *Science & Education,* vol. 6, núms. 1-2, pp. 43-53. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 113-123.

Gross, P. R., N. Levitt y M. W. Lewis (coords.) (1996), *The Flight from Science and Reason,* Nueva York, New York Academy of Sciences (distribuido por Johns Hopkins University Press, Baltimore).

Hacking, I. (1992), "'Style' for historians and philosophers", *Studies in History and Philosophy of Science,* vol. 23, núm. 1, pp. 1-20.

Harré, R. (1983), "History & philosophy of science in the pedagogical process", en R. W. Home (coord.), *Science under Scrutiny,* Dordrecht, Reidel, pp. 139-157.

Heilbron, J. L. (1983), "The virtual oscillator as a guide to physics students lost in Plato's cave", en F. Bevilacqua y P. J. Kennedy (coords.), *Using History of Physics in Innovatory Physics Education,* Pavía, Italia, La Goliardica Pavese, pp. 162-182. Reimpreso en 1994 en *Science & Education,* vol. 3, núm. 2, pp. 177-188.

——— (1987), “Applied history of science”, *ISIS,* vol. 78, pp. 552-563.

Hobson, A. (2008), “The surprising effectiveness of college scientific literacy courses”, *The Physics Teacher,* vol. 46, pp. 404-406.

Holton, G. (1975), “Science, science teaching and rationality”, en S. Hook, P. Kurtz y M. Todorovich (coords.), *The Philosophy of the Curriculum,* Búfalo, Prometheus Books, pp. 101-118.

Holton, G. (1978), “On the educational philosophy of the Project Physics course”, en *The Scientific Imagination: Case Studies,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 248-298.

Husserl, E. (1954-1970), *The Crisis of European Sciences and Transcendental Phenomenology,* Evanston, Northwestern University Press.

Irzik, G. (2013), “Introduction: Commercialization of academic science and a new agenda for science education”, *Science & Education,* vol. 22, núm. 10, pp. 2375-2384.

Irzig, G., y R. Nola (2011), “A family resemblance approach to the nature of science for science education”, *Science & Education,* vol. 20, núms. 7-8, pp. 591-607.

——— (2014), “New directions in nature of science research”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 999-1021.

Izquierdo-Aymerich, M. (2013), “School chemistry: An historical and philosophical approach”, *Science & Education,* vol. 22, núm. 7, pp. 1633-1653.

Kampourakis, K. (coord.) (2013), *The Philosophy of Biology: A Companion for Educators,* Dordrecht, Springer.

Koertge, N. (1969), “Towards an integration of contents and method in the science curriculum”, *Curriculum Theory Network,* vol. 4, pp. 26-43. Reimpreso en 1996 en *Science & Education,* vol. 5, núm. 4, pp. 391-402 (aumentado).

——— (coord.) (1998), *A House Built on Sand: Exposing Postmodern Myths about Science,* Nueva York, Oxford University Press.

Kosso, P. (2009), “The large-scale structure of scientific method”, *Science & Education,* vol. 18, núm. 1, pp. 33-42.

Kragh, H. (1992), “A sense of history: History of science and the teaching of introductory quantum theory”, *Science & Education,* vol. 1, núm. 4, pp. 349-364.

——— (1998), “Social constructivism, the gospel of science and the teaching of physics”, *Science & Education,* vol. 7, núm. 3, pp. 231-243. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination,* Dordrecht, Kluwer, pp. 125-137.

——— (2014), “The science of the universe: Cosmology and science education”,

en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 643-665.

Lacey, H. (2009), "The interplay of scientific activity, worldviews and value outlooks", *Science & Education,* vol. 18, núms. 6-7, pp. 839-860.

Lakatos, I. (1978), "History of science and its rational reconstructions", en J. Worrall y G. Currie (coords.), *The Methodology of Scientific Research Programmes: Philosophical Papers Volume I,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 102-138 (originalmente 1971).

Laugksch, R. C. (2000), "Scientific literacy: A conceptual overview", *Science Education,* vol. 84, pp. 71-94.

Lecky, W. E. H. (1914), *History of the Rise and Influence of the Spirit of Rationalism in Europe,* 2 vols., Nueva York, D. Appleton.

Machamer, P. (1992), "Philosophy of science: An overview for educators", en R. W. Bybee, J. D. Ellis, J. R. Giese y L. Parisi (coords.), *Teaching about the History and Nature of Science and Technology: Background Papers,* Colorado Spring, BSCS/SSEC, pp. 9-18. Reimpreso en 1998 en *Science & Education,* vol. 7, núm. 1, pp. 1-11.

Mahner, M. (2012), "The role of metaphysical naturalism in science", *Science & Education,* vol. 21, núm. 10, pp. 1437-1459.

———— (2014), "Science, religion, and naturalism: Metaphysical and methodological incompatibilities", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1793-1835.

Mahner, M., y M. Bunge (1996), "Is religious education compatible with science education?", *Science & Education,* vol. 5, núm. 2, pp. 101-123.

Martin, M. (1971), "The use of pseudo-science in science education", *Science Education,* vol. 55, pp. 53-56.

———— (1972), *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis,* Nueva York, Scott, Foresman. Reimpreso en 1985 en University Press of America.

———— (1974), "The relevance of philosophy of science for science education", *Boston Studies in Philosophy of Science,* vol. 32, pp. 293-300.

———— (1986-1991), "Science education and moral education", *Journal of Moral Education,* vol. 15, núm. 2, pp. 99-108. Reimpreso en 1991 en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto, OISE Press, pp. 102-114.

Matthews, M. R. (coord.) (1989), *The Scientific Background to Modern Philosophy,* Indianápolis, Hackett Publishing.

———— (coord.) (1991), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected*

Readings, Toronto, OISE Press.
———— (coord.) (2009), *Science, Worldviews and Education,* Dordrecht, Springer.
———— (coord.) (2014), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* 3 vols. Dordrecht, Springer.
McCabe, J. (1914), *The Religion of Sir Oliver Lodge,* Londres, Watts.
McMullin, E. (1970), "The history and philosophy of science: A marriage of convenience?", *Boston Studies in the Philosophy of Science,* vol. 5, pp. 12-67.
Miller, J. D. (1983), "Scientific literacy: A conceptual and empirical review", *Daedalus,* vol. 112, núm. 2, pp. 29-47.
———— (1987), "Scientific literacy in the United States", en E. David y M. O'Connor (coords.), *Communicating Science to the Public,* Londres, John Wiley.
———— (1992), *The Public Understanding of Science and Technology in the United States, 1990,* Washington, D. C., National Science Foundation.
———— (2007), "Public understanding of science in Europe and the United States", conferencia presentada en la reunión anual de la AAAS de 2007.
Nagel, E. (1969), "Philosophy of science and educational theory", *Studies in Philosophy and Education,* vol. 7, núm. 1, pp. 16-27. Reimpreso en J. Park (coord.), *Selected Readings in Philosophy of Education,* Nueva York, Macmillan, 1974.
———— (1975), "In defense of scientific knowledge", en S. Hook, P. Kurtz y M. Todorovich (coords.), *The Philosophy of the Curriculum: The Need for General Education,* Búfalo, Prometheus Books, pp. 119-126.
NCC (National Curriculum Council) (1988), *Science in the National Curriculum,* National Curriculum Council, York.
Nola, R. (1997), "Constructivism in science and in science education: A philosophical critique", *Science & Education,* vol. 6, núms. 1-2, pp. 55-83. Reproducido en M. R. Matthews (coord.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Debate,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 31-59.
———— (2003), "'Naked before reality; skinless before the absolute': A critique of the inaccessibility of reality argument in constructivism", *Science & Education,* vol. 12, núm. 2, pp. 131-166.
Nola, R., y G. Irzik (2005), *Philosophy, Science, Education and Culture,* Dordrecht, Springer.
NRC (National Research Council) (1996), *National Science Education Standards,* Washington, D. C., National Academies Press.
———— (2000), *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning,* Washington, D. C., National Academies Press.

———— (2006), *America's Lab Report: Investigations in High School Science,* Washington, D. C., National Academies Press.
———— (2007), *Taking Science to School. Learning and Teaching Science in Grades K-8,* Washington, D. C., National Academies Press.
———— (2012), *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas,* Washington, D. C., National Academies Press.
———— (2013), *Next Generation Science Standards,* Washington, D. C., National Academies Press.
Passmore, J. A. (1978), *Science and its Critics,* New Brunswick, Rutgers University Press.
Pennock, R. T. (2002), "Should creationism be taught in public schools?", *Science & Education,* vol. 11, núm. 2, pp. 111-133.
Peters, R. S. (1966), *Ethics and Education,* Londres, George Allen & Unwin.
Pinnick, C. L. (2005), "The failed feminist challenge to 'fundamental epistemology'", *Science & Education,* vol. 14, núm. 2, pp. 103-116.
———— (2008), "Science education for women: Situated cognition, feminist standpoint theory, and the status of women in science", *Science & Education,* vol. 17, núm. 10, pp. 1055-1063.
Portides, D. (2007), "The relation between idealisation and approximation in scientific model construction", *Science & Education,* vol. 16, núms. 7-8, pp. 699-724.
Quine, W. V. O. (1960), *Word and Object,* Cambridge, MIT Press.
Reichenbach, H. (1938), *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge,* Chicago, University of Chicago Press.
Renn, J. (2013), "Einstein as a missionary of science", *Science & Education,* vol. 22, núm. 10, pp. 2569-2591.
Roberts, D. A. (2007), "Scientific literacy/science literacy", en S. K. Abell y N. G. Lederman (coords.), *Handbook of Research in Science Education,* Mahwah, Nueva Jersey, Erlbaum, pp. 729-779.
Ruse, M. (1990), "Making use of creationism: A case-study for the philosophy of science classroom", *Studies in Philosophy and Education,* vol. 10, núm. 1, pp. 81-92.
Rutherford, F. J., y A. Ahlgren (1990), *Science for All Americans,* Nueva York, Oxford University Press.
Sagan, C. (1997), *The Demon-haunted World: Science as a Candle in the Dark,* Londres, Headline. [Hay edición en español: *El mundo y sus demonios: La ciencia como una luz en la oscuridad,* Madrid, Planeta, 2005.]
Scheffler, I. (1973), "Philosophy and the curriculum", en *Reason and Teaching,*

Indianápolis, Bobbs-Merrill, pp. 31-41.
SCC (Science Council of Canada) (1984), *Science for Every Student: Educating Canadians for Tomorrow's World,* reporte 36, Ottawa, Science Council of Canada.
Shamos, M. (1995), *The Myth of Scientific Literacy,* New Brunswick, Rutgers University Press.
Shapere, D. (1977), "What can the theory of knowledge learn from the history of knowledge?", *The Monist,* vol. LX, núm. 4, pp. 488-508. Reproducido en D. Shapere, *Reason and the Search for Knowledge,* Dordrecht, Reidel, pp. 182-202.
Shermer, M. (1997), *Why People Believe Weird Things: Pseudoscience, Superstition, and other Confusions of our Time,* Nueva York, W. H. Freemand.
Siegel, H. (1979), "On the distortion on the history of science in science education", *Science Education,* vol. 63, pp. 111-118.
———— (1989), "The rationality of science, critical thinking, and science education", *Synthese,* vol. 80, núm. 1, pp. 9-42. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto y Nueva York, OISE Press-Teachers College Press, 1991.
———— (1993), "Naturalized philosophy of science and natural science education", *Science & Education,* vol. 2, núm. 1, pp. 57-68.
———— (1997), "Science education: Multicultural and universal", *Interchange,* vol. 28, núms. 2-3, pp. 97-108.
———— (2004), "The bearing of philosophy of science on science education, and viceversa: The case of constructivism", *Studies in History and Philosophy of Science,* vol. 35A, pp. 185-198.
Silva, C. C. (2007), "The role of models and analogies in the electromagnetic theory: A historical case study", *Science & Education,* vol. 16, núm. 7, pp. 835-848.
Slezak, P. (2000), "A critique of radical social constructivism", en D. C. Phillips (coord.), *Constructivism in Education: 99th Yearbook of the National Society for the Study of Education,* Chicago, NSSE, pp. 91-126.
———— (2014), "Constructivism in science education", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1023-1055.
Suchting, W. A. (1992), "Constructivism deconstructed", *Science & Education,* vol. 1, núm. 3, pp. 223-254. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 61-92.
———— (1995), "The nature of scientific thought", *Science & Education,* vol. 4, núm. 1, pp. 1-22.

Suppe, F. (coord.) (1977), *The Structure of Scientific Theories,* Urbana, University of Illinois Press.
Taylor, R. S., y M. Ferrari (coords.) (2011), *Epistemology and Science Education: Understanding the Evolution vs. Intelligent Design Controversy,* Nueva York, Routledge.
Thagard, P. (2011), "Evolution, creation, and philosophy of science", en R. S. Taylor y M. Ferrari (coords.), *Epistemology and Science Education: Understanding the Evolution vs. Intelligent Design Controversy,* Nueva York, Routledge, pp. 20-37.
Thagard, P., y S. Findlay (2010), "Getting to Darwin: Obstacles to accepting evolution by natural selection", *Science & Education,* vol. 19, núms. 6-8, pp. 625-636.
Tobin, E. (2013), "Chemical laws, idealization and approximation", *Science & Education,* vol. 22, núm. 7, pp. 1581-1592.
Trefil, J. S. (2008), *Why Science?,* Nueva York, Teachers College Press.
Wartosfky, M. W. (1976), "The relation between philosophy of science and history of science", en R. S. Cohen, P. K. Feyerabend y M. W. Wartofsky (coords.), *Essays in Memory of Imre Lakatos,* Dordrecht, Reidel, pp. 717-738 (Boston Studies in the Philosophy of Science, 39). Reeditado en M. W. Wartofsky, *Models,* Dordrecht, Reidel, 1979.
Whitehead, A. N. (1947), "Technical education and its relation to science and literature", en *The Aims of Education and other Essays,* Londres, Williams & Norgate, pp. 66-92.
Wynne, B. (2007), "Dazzled by the mirage of influence?", *Science, Technology & Human Values,* vol. 32, núm. 4, pp. 491-503.

II. LA TRADICIÓN ILUSTRADA EN LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

Para entender mejor las motivaciones de quienes defienden el papel de la historia y la filosofía en la enseñanza de la ciencia, o de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (NDC), como a veces se llama, resulta útil remontarse a los orígenes de estas preocupaciones en la Europa de la Ilustración. Aunque el programa de la historia, la filosofía y la enseñanza de la ciencia no coincide totalmente con la tradición ilustrada en educación, sí comparte muchas de sus inquietudes por invitar a científicos, filósofos e historiadores a participar en temas de enseñanza con el objetivo de ensanchar nuestros ámbitos de conocimiento de los mundos naturales y sociales y para promover la mejora de la vida cultural y social.

A los filósofos ilustrados del siglo XVIII —John Locke (1632-1704), Baruch Spinoza (1632-1677), Voltaire (1694-1778), Jean D'Alembert (1717-1783), Denis Diderot (1713-1784), Nicolas de Condorcet (1743-1794), Julien de la Mettrie (1709-1751), David Hume (1711-1776) y, un poco después, Benjamin Franklin (1706-1790), Joseph Priestley (1733-1804), Thomas Jefferson (1743-1826) e Immanuel Kant (1724-1804)— los inspiraron los dramáticos logros de la nueva ciencia del siglo XVII. La Ilustración del siglo XVIII fue, así, fruto de la revolución científica del siglo XVII. Según estimó Isaiah Berlin: "El poder intelectual, la honestidad, la lucidez, el coraje y el amor desinteresado por la verdad de los pensadores mejor dotados del siglo XVIII siguen sin tener parangón hoy en día. Su época es uno de los mejores y más esperanzadores episodios en la historia de la humanidad" (Berlin, 1965, p. 29).

No en vano la llamamos la "era de la razón". Los primeros filósofos modernos y los filósofos de la Ilustración creían en el progreso: pensaban que, mediante el uso de la razón y si se seguían los métodos de científicos naturales excepcionalmente exitosos (como Galileo, Huygens y Newton), era posible mejorar la vida y las estructuras sociales, y la gente podía vivir una vida más alegre y satisfactoria. Su entusiasmo por las reformas sociales variaba (se sabe que Newton se opuso a que se admitieran católicos romanos en la Universidad de Cambridge), y también albergaban una diversidad de ideas sobre cómo debía ser el Estado; sin embargo, todos compartían un compromiso esencial con la libertad de expresión, la libertad de asociación, la educación y la separación de la Iglesia y el Estado, incluida la separación en las leyes (la blasfemia no debía ser un crimen; otras fueron más difíciles de separar), la educación (la Iglesia no debía monopolizar o controlar la escolaridad), y los servicios del Estado (no debían existir pruebas religiosas para acceder a un puesto estatal o a un ascenso).

Existió un amplio espectro de filósofos ilustrados, cada uno con su propia combinación de opiniones filosóficas, religiosas y políticas,[1] y la distinción entre los grupos más moderados y más radicales resultaba más bien laxa.[2] Sin embargo, las que siguen pueden considerarse las ideas centrales de la ideología ilustrada:[3]

1) *Universalismo:* Todos los seres humanos normales comparten una naturaleza similar, y por lo tanto son capaces de adquirir conocimiento y asimismo son sujetos de consideraciones éticas; el universalismo en lo referente a la ley y los derechos humanos fue una consecuencia natural del universalismo en las leyes de la naturaleza y las explicaciones científicas.[4]
2) *Objetividad:* En las cuestiones de hecho, ya sean particulares o generales, existen verdades o falsedades objetivas.

3) *Racionalidad:* Los individuos son capaces, en principio, de distinguir la verdad o la falsedad de proposiciones relativas a cuestiones de hecho.
4) *Empirismo:* La evidencia de los sentidos es necesaria para determinar las cuestiones de hecho.
5) *Cientificismo:* Para obtener conocimiento en los cambios de la investigación social, política, moral y religiosa, deben seguirse los métodos de las nuevas ciencias físicas.
6) *Antirrevelacionismo:* El único método sólido en teología es el de la teología natural: lo que podemos conocer sobre Dios se limita a lo que podemos razonar a partir de la experiencia y del mundo natural. Así, el papel de la razón es juzgar las supuestas revelaciones.
7) *Naturalismo:* Los únicos entes que existen en el mundo, y por lo tanto los únicos que son capaces de explicar los acontecimientos, son los que revela la ciencia. Esto puede o no implicar materialismo. Deben rechazarse los mitos y las supersticiones.
8) *Utilitarismo:* Las normas éticas deben formularse con base en su utilidad personal y social, no con base en la religión revelada o en su impacto en el más allá ni en términos supuestamente deontológicos.
9) *Optimismo:* Los seres humanos y la sociedad pueden y deben mejorar, esto mediante la aplicación de un razonamiento sólido y una conducta correcta.
10) *Independencia:* Las autoridades seculares o religiosas no tienen medios especiales para determinar la verdad sobre el mundo, la ética, la política o incluso la religión; el derecho a ejercer la razón individual y a seguir los métodos correctos es superior a los pronunciamientos autoritarios.

La historiadora Margaret Jacob expresó muy bien la contribución de la nueva ciencia a la formación de la joven sociedad de la Ilustración en Europa:

> La creación de la sociedad civil —esa zona de intercambio relativamente libre que yace tanto entre el Estado y la esfera doméstica como fuera de ellos— tiene una deuda con la ciencia. La ciencia experimental requiere asociaciones voluntarias y prácticas cuyo fin sea la verificación por parte de un público independiente, sin importar qué tan aristocrática u oligárquica sea su composición original [Jacob, 1998, p. 242].

Los filósofos de la Ilustración (y los filósofos naturales) creían que el método de la nueva ciencia debía aplicarse a los problemas sociales, políticos, religiosos, filosóficos y culturales de la época, que por entonces parecían irresolubles, con la esperanza de obtener al menos en parte el mismo éxito que resultaba evidente al aplicarlo a asuntos concernientes al mundo natural. Jean Lerond d'Alembert tenía tanta convicción en el poder de "pensar correctamente" que creía que si se introducían en España matemáticos de contrabando la influencia de sus ideas claras y racionales se extendería hasta debilitar

a la Inquisición (Hankins, 1985, p. 2). Resulta claro que aquí el corazón gobierna sobre la cabeza. D'Alembert capturó con fidelidad las ideas y el entusiasmo de muchos intelectuales del siglo XVIII cuando escribió, en 1759:

> Nuestra época gusta de llamarse […] *la época de la filosofía* […] el descubrimiento y el uso de un nuevo método de filosofar despierta, sin embargo, a través del entusiasmo que acompaña a todos los grandes descubrimientos, un incremento general de las ideas. Todas estas causas han colaborado en la producción de una viva efervescencia de los espíritus. Esta efervescencia, que se extiende por todas partes, ataca con violencia a todo lo que se pone por delante, como una corriente que rompe sus diques [Cassirer, 1932-1951, pp. 3-4].

Estos agudos pensadores tenían mucho en qué pensar: la sociedad europea del siglo XVII estaba bastante lejos de parecerse al jardín del Edén. Entre los horrorosos males que aquejaban a la sociedad merecen mencionarse al menos los siguientes.[5] Durante el periodo más productivo de Galileo, la terrible Guerra de los Treinta Años (1618-1648) asoló Europa —los estados alemanes, Francia, Italia, España, Portugal y los Países Bajos —, y también se peleó en el Caribe y en América del Sur. Por lo general, se acepta que murió entre 15 y 20% de la población, alemana, católica y protestante por igual. La tortura, quema y ahorcamiento de herejes que llevaban a cabo tanto la Iglesia católica como la protestante se extendieron durante siglos tras el fin de las guerras religiosas. La Inquisición española colgó a su último hereje, un maestro de escuela deísta, en 1834 (Burman, 1984, p. 207). De la mano de las guerras religiosas y de las inquisiciones celosas de su deber, Europa se vio envuelta en maniáticas cacerías de brujas que se cobraron su precio más sangriento en Francia, Suiza, Alemania y Escocia. En el cantón suizo de Vaud, en los 90 años que transcurrieron entre 1591 y 1680, se juzgó a 3 371 mujeres por brujería, todas las cuales fueron ejecutadas (Koenigsberger, 1987, p. 136). Los Juicios de Salem ocurrieron en Massachusetts en 1692, cinco años después de la publicación de los *Principia* de Newton. Y en 1773, casi 100 años después de la publicación de esa obra, la Iglesia presbiteriana de Escocia ratificó que creía en las brujas, aunque la España católica tuvo la distinción de ser el último país europeo en quemar a una bruja en la hoguera, a comienzos del siglo XIX. Y, como se mencionará en el capítulo X, esta práctica abominable perdura en Papúa Nueva Guinea, en África y sin duda en muchas sociedades tradicionales ajenas a la ciencia y al pensamiento ilustrado.

Por suerte, y si se nos permite cierto anacronismo, había un amplio espectro de personas, entre ellas reformistas sociales religiosos, que pensaban que la sociedad podía organizarse mejor. Hasta el inquisidor español Alonzo de Salazar Frías tenía dudas sobre la prevalencia, e incluso la existencia, de brujas. En 1612 (dos años después de las observaciones de Galileo en el telescopio) escribió un reporte profético en el que decía:

> También tengo por cierto que en el estado presente no sólo no conviene dar nuevos Edictos de Delaciones, Entredichos y prorrogaciones de los ya concedidos, o cualquier intento de querer ventilar en público estas

> cosas, porque con el estado achacoso que ya tienen ellas mismas, sería nocivo y el resultado podría ser mucho peor del ya existente.
>
> En conclusión: que a mi entender no hubo brujas ni embrujados en estos lugares hasta que comenzó a tratarse y a escribirse sobre ellos; que todo son invenciones y patrañas de gentes ignorantes o de mentes enfermas (Burman, 1984, p. 182).[6]

Sin embargo, fueron los filósofos de la Ilustración quienes procuraron entender conscientemente las causas del "estado achacoso" de las cosas, como las describió el inquisidor, para así poder mejorarlas.

En el último medio siglo, el ámbito de la enseñanza ha estado sumido en una constante batalla sobre los méritos de la Ilustración y el pensamiento ilustrado asociado con ella. Hay muchos investigadores —en particular feministas, constructivistas, posmodernistas y multiculturalistas— que deploran la Ilustración, sus valores y sus postulados filosóficos. Michael Peters, el editor de una revista y una serie de libros muy importantes, es un representante de estas voces. Peters, influido por Foucault y otros posmodernistas, plantea una nueva filosofía de la educación que

> implicará, sobre todo, una reevaluación de la "filosofía del sujeto" [persona, no disciplina], de la razón centrada en el sujeto, como parte del proyecto de modernidad que apuntala la teoría educativa moderna y el proyecto de escolaridad liberal masiva […] Esta línea de investigación filosófica podría cuestionar la forma en la que el "sujeto de educación" moderno ha estado basado en un universalismo y racionalismo europeos fuertemente reforzados por supuestos extremadamente individualistas heredados de los grandilocuentes discursos de la Ilustración. Estar al corriente de una nueva conciencia sobre los peligros del etnocentrismo occidental y una comprensión crítica de la diferencia y la "otredad" podría ofrecer acercamientos a la constitución de la subjetividad que reconocen y redefinen la relación entre representación y poder al nivel del discurso y la práctica [Peters, 1995, pp. 327-328].

Ya sea que uno entienda esta afirmación o no, queda claro que la historia y la filosofía de la ciencia son indispensable para apreciarla. En eso consiste la tesis del presente libro, como ejemplifica una multitud de debates comparables que veremos más adelante. Sin la historia y la filosofía de la ciencia, estas afirmaciones educativas producen calor pero no arrojan mucha luz.

La Inglaterra del siglo XVII fue testigo de los triunfos científicos de Boyle, Hooke, Newton y muchas figuras menores, así como del establecimiento de la Royal Society.[7] Esta nueva ciencia engendró ideas y actitudes que sirvieron como base para la Ilustración, que florecería poco después. A principios del siglo XVIII, Inglaterra era la maestra de Europa. Como escribió un historiador: "en las décadas de 1730 y 1740 […] prácticamente todo lo inglés tenía gran demanda en Europa […] En todos lados se idolatraba y elogiaba particularmente a Newton y a Locke" (Israel, 2001, p. 515). La revolución científica del siglo XVII fue la semilla de la que nació la planta de la Ilustración del XVIII, con sus frutos filosóficos, teológicos, políticos y educativos. Se conocen bien los logros científicos en mecánica, astronomía, horología, medicina y otros campos. Estos trabajos en "filosofía natural" se institucionalizaron con la fundación de la Academia Leopoldina en Alemania (1652), la Royal Society en Inglaterra (1660) y la Académie Royal des Sciences en Francia (1666). Por supuesto, las semillas requieren nutrientes y un entorno adecuado para crecer; nadie piensa que el telescopio de Galileo o la ley de la atracción de Newton produjeron por sí solos la Ilustración europea, pero sin ellos ésta no habría ocurrido en la forma y el lugar en que lo hizo.

En su *Historia de Inglaterra,* David Hume escribió que Newton fue el "más raro y grande ingenio que ha existido jamás para el ornamento y la instrucción de la especie humana" (Hume, 1754-1762/1828, vol. IV, p. 434). Por supuesto, se trata de un inglés que escribe sobre otro inglés, pero aun así Hume expresó con acierto la impresión general que se tenía sobre la preeminencia de Newton en la ciencia del siglo XVII. Es bien sabido que, en una carta a Robert Hooke del 5 de febrero de 1676, Newton le escribió "si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a hombros de gigantes". Y había muchos gigantes, como Galileo, Kepler y Huygens. Sus *Principia* (Newton, 1713/1934) y *Óptica* (Newton, 1730/ 1979) sentaron las bases de la ciencia moderna y la inspiración para la Ilustración. John Locke, que se llamaba a sí mismo el empleado de Newton, escribió cinco importantes textos de la Ilustración en la década que siguió a la publicación de los *Principia* (Locke, 1689/1924, 1689/1983, 1690/1960, 1693/1996) y *Pensamientos sobre la educación* (Locke, 1693/1968).

Newton creía que si los métodos de la nueva ciencia se aplicaban a otros campos tendrían un benéfico efecto de derrama. Como afirmó, "y si la Filosofía Natural se perfeccionara en todas sus partes siguiendo este método, los límites de la Filosofía Moral serán asimismo ampliados" (Newton, 1730/1979, p. 405). Newton aplicó sus métodos científicos a problemas históricos, notablemente a sus detallados y persistentes estudios bíblicos y por extensión a su enorme tratado *The Chronology of Ancient Kingdoms* [La cronología de los antiguos reinos], publicado en forma póstuma en 1728. Estudió

asiduamente las múltiples traducciones de la Biblia en busca de evidencias de autoría y con el objetivo de valorar las distintas interpretaciones de los textos; tenía lo que él mismo consideraba una aproximación científica y crítica a los estudios bíblicos, la historia de la Iglesia y la teología. Estos estudios lo llevaron a creer que la doctrina de la Trinidad era una corrupción helenística del antiguo pensamiento eclesiástico, pero fue lo suficientemente astuto como para mantener privadas e inéditas ésta y otras creencias blasfemas. Newton escribió mucho más sobre estudios bíblicos y teológicos que sobre filosofía natural. Lamentablemente, en esos campos no había muchos gigantes sobre cuyos hombros pudiera pararse.[8]

Como se mencionará en el capítulo VII, 50 años después de los escritos sacrílegos de Newton, Joseph Priestley aplicó el mismo método a los mismos materiales y con los mismos resultados, pero a diferencia de Newton las convicciones filosóficas y sociales de Priestley lo llevaron a hacer públicas sus nada ortodoxas opiniones. Cincuenta años antes de que se publicara *Sobre la libertad* de John Stuart Mill, Priestley defendió la postura liberal básica de que la libre expresión y la discusión pública eran condiciones indispensables para la multiplicación del conocimiento científico, religioso, histórico, político y de cualquier otra clase. Priestley formuló sus argumentos sobre una "sociedad abierta" 150 años antes que Karl Popper.

David Hume hizo eco a las expectativas de Newton con el subtítulo de su famoso *Tratado sobre la naturaleza humana. Ensayo para introducir el método del razonamiento experimental en los asuntos morales* (Hume, 1739/1888). El marqués de Condorcet (1743-1794), uno de los principales filósofos de la Ilustración francesa, dijo en 1782, durante su discurso de aceptación en la Academia Francesa, que "las ciencias morales [sociales]" eventualmente "seguirían los mismos métodos, adquirirían un lenguaje igualmente exacto y preciso, alcanzarían el mismo grado de certeza" que las ciencias naturales (Condorcet, 1976, p. 6).

En el contexto del siglo XVII europeo, no resulta sorprendente que muchos con una disposición reformista pensaran que los logros científicos de Newton podían replicarse en campos ajenos a la filosofía natural si su enfoque y su "método" se aplicaban en forma generalizada. Muchos esperaban que las lecciones de la nueva ciencia tuvieran efectos sobre la cultura, la sociedad y la vida personal. Era el deber de la educación promover esta transferencia desde las academias hacia los ciudadanos.

A todos los filósofos de la Ilustración les inquietaba la educación: querían que las ideas ilustradas fructificaran entre los ciudadanos.[9] Este compromiso educativo o pedagógico es el que subyace en sus escritos y sus pláticas en lengua vernácula, la publicación de libros y panfletos dirigidos al público en general, su empeño en entablar debates públicos en diarios y otras publicaciones periódicas, en editar enciclopedias inglesas y francesas, etc. También escribieron en forma explícita sobre educación; fueron

los textos de Locke (1693/1996), Kant (1803/1899) y Rousseau (1762/1991) los que tuvieron mayor impacto en su época y después. Las palabras con las que Locke comienza su tratado sobre la educación resumen con elocuencia el *Zeitgeist* de la Ilustración: su compromiso con el humanismo, la libertad, el progreso, la perfectibilidad de los individuos y la sociedad y la negación de todas las versiones del fatalismo:[10] "pienso que puede afirmarse que de todos los hombres con que tropezamos, nueve partes de diez son los que son, buenos o malos, útiles o inútiles, por la educación que han recibido. Ésta es la causa de la gran diferencia entre los seres humanos" (Locke 1693/1968, p. 114).

El mejor y el más notable precursor ilustrado de los movimientos de “ciencia para todos”, y en particular un antecesor directo del programa contemporáneo de la historia, filosofía y enseñanza de la ciencia, es Joseph Priestley. Nació en Yorkshire en 1773 y murió en Pensilvania en 1804; su vida se extendió a lo largo de los años clave de la Ilustración europea, en la que desempeñó un papel muy importante. Era una persona inmensamente dotada, un erudito que hizo contribuciones originales y duraderas en un amplio abanico de temas. Escribió más de 200 libros, panfletos y artículos sobre historia de la ciencia (electricidad y óptica, en concreto), teoría política, teología, estudios de la Biblia, teoría del lenguaje, filosofía de la educación y retórica, así como los libros y panfletos sobre química por los que mejor lo conocemos hoy.[11] No sólo estaba familiarizado con muchos campos: era evidente un entretejimiento explícito de todas sus actividades intelectuales. Para Priestley el conocimiento no estaba compartimentalizado: su epistemología (sensacionalismo) estaba relacionada con su ontología (materialismo), y ambos con su teología (unitarismo) y su psicología (asociacionismo), y todo esto a su vez tenía que ver con su teoría política y social (liberalismo). Era un pensador deliberadamente sinóptico o sistemático: todos los componentes del conocimiento (y de la vida en general) tenían que mantener relaciones consistentes entre sí.

Priestley compartía la convicción ilustrada de que una buena educación beneficiaría a los individuos y a sus sociedades. Como escribió en “The proper objects of education” [Los objetivos adecuados de la educación] (Priestley, 1791): “Todos los grandes avances en el estado de la sociedad han sido, y deben ser […] resultado de los más pacíficos pero más asiduos empeños por dedicarse al más lento de los procesos: el de iluminar las mentes de los hombres”.

Aunque muchos argumentaban y escribían a favor de una educación mejor y más generalizada, Priestley era de los pocos que practicaba lo que pregonaba la Ilustración: estuvo comprometido toda su vida con la escolarización, la enseñanza y el aprendizaje. Las opiniones de Priestley en lo tocante a la educación eran parte de una postura sistemática y generalizada: su teología, filosofía, epistemología, psicología, teoría social y ciencia eran partes de un todo coherente. No le impresionaba mucho el estado de la educación en Inglaterra, en particular la educación científica:

> Lamento tener ocasión de observar que la ciencia natural no suele ser —si es que alguna vez lo es— el objeto de la educación en esta nación, en la cual tantos individuos se han distinguido por su dedicación a ella. Y debo observar que, si quisiéramos sentar bases firmes para un talante filosófico y para ocupaciones filosóficas, las personas deberían estar acostumbradas desde muy jóvenes al espectáculo de los experimentos y los procesos. En particular, debería iniciárselas tempranamente a la teoría y a la práctica de la investigación, mediante la cual podría lograrse que muchos de los viejos descubrimientos fueran los suyos propios; momento en el cual los apreciarían mucho más [Priestley, 1790, p. xxix].

Se trata de una de las primeras muestras de apoyo a la enseñanza vivencial, y en particular a la enseñanza histórica-investigativa, que busca seguir los pasos de quienes nos preceden. A esto se debe, en parte, que escribiera sus primeras historias sobre óptica (Priestley, 1772)[12] y electricidad (Priestley, 1767/1775).[13] Suponía que los hábitos y las habilidades que se adquirían al investigar la naturaleza —al observar, formular hipótesis, buscar evidencia a favor y en contra, y realizar experimentos con controles— se extenderían a la investigación de otros asuntos: la religión, las revelaciones, la política, la historia eclesiástica, etc. Para Priestley, y para muchos otros filósofos de la Ilustración, la ciencia significaría "los medios, ante Dios, de extirpar todo error y prejuicio, y de ponerle fin a toda autoridad indebida y usurpada en el tema de la religión, así como en el de la ciencia" (Priestley, 1775-1777, vol. I, p. xiv).

Priestley recibió en la Academia disidente de Daventry una educación que fomentaba la crítica; allí estuvo expuesto a animados debates y argumentos sobre todos los temas. Las academias disidentes fueron la respuesta del clero no conformista y de los legos al monopolio que mantenía la Iglesia anglicana sobre la educación en escuelas y universidades. Robert Merton ha sido uno de muchos en llamar la atención sobre el papel que desempeñaron estas academias disidentes en la acogida y la promoción de la ciencia en Inglaterra (Merton, 1938/1970, p. 119). Un estudioso dijo:

> Es en la Inglaterra no conformista, la Inglaterra excluida de las universidades nacionales, la Inglaterra industrial con sus nuevos centros poblacionales y su nueva civilización donde debemos buscar las instituciones que dieron origen a la cultura utilitaria y científica de la nueva época [Halevy, citado en Brooke, 1978, p. 11].

Newton los inspiró desde Cambridge, pero los disidentes (y los católicos, los judíos y los ateos) tenían prohibido matricularse allí. En contraste, "libertad de investigación" era el lema, profundamente arraigado, de las academias disidentes.

En 1758, cuando tenía 25 años, Priestley ocupó un puesto como pastor en Nantwich, Cheshire, y durante su estancia allí estableció una escuela con 30 niños y, en una habitación separada, seis niñas. Dio clases en la escuela durante tres años, seis días a la semana, de 7 de la mañana a 4 de la tarde. Impartía latín, griego, y gramática y geografía inglesa. También enseñó un poco de filosofía natural, y compró una bomba de aire y una máquina eléctrica e instruyó a sus pupilos en su uso. Es posible, entonces, que Priestley haya sido el primer profesor de laboratorio de ciencia en una escuela.

Además de acumular durante su vida casi tres décadas involucrado directamente en la enseñanza, Priestley escribió varias obras muy influyentes sobre la teoría y la práctica de la educación. Su trabajo más famoso —*Ensayo sobre un curso de educación liberal para la vida civil y activa* (Priestley, 1765/1965)— fue escrito y publicado mientras daba clases en la Academia Warrington. Apareció originalmente en forma de panfleto, y luego se convirtió en las 25 páginas del prefacio a sus *Conferencias sobre historia y*

política general (Priestley, 1788); en esta encarnación, tuvo 16 reimpresiones y se tradujo al holandés (1793) y al francés (1789). En la edición estadunidense de 1803 Priestley añade al texto esta nota:

> Desde que se escribió esto, que fue hace casi 40 años, pocas personas han estado más involucradas en el tema de la educación que yo; y lo que entonces planeé en teoría ha sido llevado a la práctica por mí mismo y otros, según creo con una aprobación universal [Passmore, 1965, p. 289].

Esta inquietud por conectar la teoría y la práctica cruza todo el trabajo de Priestley, incluida su oposición a la nueva teoría del oxígeno de Lavoisier. Aunque no fue un precursor del marxismo ni un positivista prematuro, Priestley siempre albergó sospechas sobre las teorías que iban demasiado por delante de la práctica o se distanciaban demasiado de los hechos relevantes; por acuñar una frase moderna, para él "la teoría tenía que probarse en la práctica".

Como resulta común en los programas de historia, filosofía y enseñanza de la ciencia actuales, Priestley abogó por un plan de estudios coordinado, argumentando que "Cuando los temas que tienen conexiones entre sí se explican como parte de un sistema regular, cada parte se ubica donde más luz refleja sobre los temas vecinos" (*ibid.,* p. 293). También defendió la idea de un currículo estructurado y controlado, al afirmar que:

> Las cosas más sencillas se discuten primero, y se les hace funcionar como axiomas, como las bases de las que se verán más adelante. Sin este método regular para estudiar los elementos de cualquier ciencia parece imposible obtener una idea clara y completa sobre ella [*ibid.*, p. 293].

Priestley compara favorablemente el aprendizaje y las capacidades de un alumno instruido de este modo con uno que "sólo ha considerado el tema en forma fortuita, leyendo cualquier tratado que cayera en sus manos, o adoptando sus máximas de las compañías que haya frecuentado por accidente" (*ibid.,* p. 293).

Uno de los peligros que identifica en la enseñanza desestructurada es "que se impongan las opiniones interesadas con las que los hombres con frecuencia hablan y escriben. Pues se trata de temas sobre los que hay que sospechar de casi cualquier escritor u orador, ya que sus posturas e intereses tienen que ver todo con ellas" (*ibid.,* p. 293).

Defendía la discusión entre alumnos como parte del proceso educativo; afirmaba que "No es ninguna sorpresa que los jóvenes caballeros les presten tan poca atención a sus estudios actuales, donde encuentran que jamás se mantiene una conversación sensata en la que se discutan los temas que los componen" (*ibid.,* p. 294).

En coincidencia, una vez más, con el programa actual de historia, filosofía y enseñanza de la ciencia, Priestley ratifica su opinión de que la educación liberal para una vida civil y activa requiere que se promueva la comprensión de los principios de los

temas de enseñanza; dice así:

> Un hombre al que se ha acostumbrado a ir siempre por el mismo camino transitado, y a quien no se le ha inculcado la idea de que existe ningún otro [...] Se sentirá totalmente perdido cuando resulte que ese camino ya no puede ser usado; mientras que una persona que tiene una idea general de todo el recorrido puede ser capaz de emprender la marcha por un camino nuevo, y tal vez mejor que el anterior [*ibid.*, p. 295].

Como maestro de la Academia Disidente de Warrington, Priestley insistió en que los alumnos formularan y respondieran preguntas; fomentó que se involucraran libremente con todos los temas, incluida la Divinidad, y se aseguró de que leyeran y citaran autoridades en ambos lados de los asuntos controversiales. Uno de sus alumnos de Warrington recordaba que:

> Al término de su lección siempre animaba a los alumnos a expresar sus sentimientos relativos al tema que había tocado, y a adelantar sin reservas cualquier objeción que tuvieran a lo que había enseñado. Se sentía complacido cuando cualquiera iniciaba esta conversación [...] Su objetivo [...] era alentar a los alumnos a decidir por sí mismos, libres de la influencia de los sentimientos de cualquier otra persona [Rutt, 1831-1832, vol. I, p. 50; en Lindsay, 1970, 15].

Priestley tenía cierta confianza en que un régimen educativo como el que proponía y llevaba a la práctica resultaría en el mejoramiento de la sociedad. Escribió: "No puedo evitar pensar que si los estudios que aquí he recomendado se introdujeran en forma generalizada en las aulas de educación liberal las consecuencias podrían ser alegres para este país en algún periodo futuro" (Passmore, 1965, p. 301).

Éste era el Priestley *reformista*. Pero por alguna razón también se le considera un *revolucionario*. Sus nociones sobre los efectos de derrama de la investigación científica y la adquisición de la disposición mental y el carácter asociados con ella lo llevaron a proclamar desde su púlpito de Birmingham, en un sermón sobre "La importancia y el alcance de la libre investigación":

> Estamos, por así decirlo, depositando pólvora, grano a grano, bajo el viejo edificio del error y la superstición, que en lo sucesivo una sola chispa puede inflamar para producir una explosión instantánea; como consecuencia de lo cual ese edificio, cuya erección ha sido el trabajo de siglos, puede derrumbarse en un momento, y de manera tan absoluta que nunca más puedan sentarse los mismos cimientos [Priestley, 1785].

En un momento en el que Gran Bretaña acababa de ser vencida en la Revolución estadunidense (1775-1783) y en el que se dejaban entrever las primeras señales de la Revolución francesa (1787-1789) en todos los estados y reinos europeos, estas palabras no eran muy juiciosas; le ganaron a Priestley el apodo de "Joe Pólvora" ("Gunpowder Joe") y llevaron a que, en 1791, una multitud furiosa saqueara su casa, su biblioteca y su laboratorio en nombre "del Rey y de la Iglesia" y lo obligara a dejar Yorkshire y refugiarse en Estados Unidos.[14]

Gracias a la amistad personal de Priestley con Benjamin Franklin, George Washington, John Adams y Thomas Jefferson, y a la admiración que todos sentían por él, existió un impacto directo de las ideas ilustradas en la vida pública y la educación de Estados Unidos de fines de la Colonia y principios de la Independencia. Daniel Boorstin escribe: “Junto a Paine, Priestley era el símbolo más vigoroso del espíritu republicano cosmopolita; se había convertido en un colaborador cercano de los jeffersonianos cuando aún vivía en el extranjero” (Boorstin, 1948, p. 17).

La historia de las ideas de la Ilustración y la práctica educativa en los siglos XVIII y XIX son un tema complejo, y en este momento podemos pasarlo por alto. Es suficiente mencionar a Ernst Mach, los positivistas del Círculo de Viena y John Dewey, que son eslabones de una cadena educativa que conecta el programa actual de la historia, la filosofía y la enseñanza de la ciencia con sus ancestros ilustrados.

La primera persona que se ocupó sistemáticamente de las contribuciones que ha hecho la historia y la filosofía de la ciencia a la educación de la ciencia fue Ernst Mach (1838-1916), un importante seguidor de la tradición ilustrada durante mediados del siglo XIX. Desafortunadamente sus aportaciones a la educación de la ciencia se han ignorado casi por completo en el mundo de habla inglesa.[15] Es una lástima, porque las tendencias actuales en la práctica y la teoría de la educación de la ciencia repiten, en muchos aspectos, los argumentos centenarios de Mach sobre los propósitos y los objetivos de la enseñanza de la ciencia, la naturaleza de la comprensión y las mejores formas de promover el aprendizaje. Espero que esta sección reconstruya, en cierta medida, lo que se hizo en un obituario de 100 años de edad:

> Es sobre Mach el educador sobre quien debemos llamar aquí la atención de nuestros lectores, en particular los más jóvenes, no como alguien que nos ha dejado sino como un hombre cuya semilla está destinada a echar aún más raíces en la enseñanza de la física y, con ello, en toda la enseñanza de cosas reales, y a fructificar el espíritu de sus enseñanzas [Höfler, 1916, traducción al inglés de W. A. Suchting].

Mach fue uno de los grandes filósofos-científicos de finales del siglo XIX y principios del XX. Hablaba con fluidez la mayor parte de los idiomas europeos, era un entusiasta de los clásicos griegos y latinos, un físico que hizo contribuciones muy importantes en campos tan diversos como la electricidad, la dinámica de gases, la termodinámica, la óptica, la teoría de la energía y la mecánica, historiador y filósofo de la ciencia, psicólogo, rector de la Universidad Alemana de Praga, miembro de la Cámara Alta del Parlamento Austriaco y un escritor de lúcida prosa. Era una persona de carácter y convicciones fuertes, un socialista y un humanista liberal declarado en el centro mismo del ultraconservador y católico Imperio austrohúngaro. Einstein dijo sobre él que "miró el mundo con los ojos inquisitivos de un niño despreocupado que se deleitaba en entender sus relaciones" (Hiebert, 1976, p. xxi). Mach hizo contribuciones científicas y filosóficas que abarcan todo el periodo que separa a Darwin de Einstein. La primera de las 500 publicaciones de Mach apareció en 1859, el año de publicación de *El origen de las especies;* su último trabajo se publicó cinco años tras su muerte, en 1921, el año en el que se publicó *Relatividad: La teoría especial y general* de Einstein.[16]

Las contribuciones de Mach a la educación

Lo que Mach sabría sobre ciencia y filosofía incidió sobre sus ideas educativas. También lo influyeron las ideas del filósofo-psicólogo-educador alemán Johann Friedrich Herbart. Mach aplicó las ideas de Herbart en la primera materia que impartió, "Física para los

alumnos de medicina", y en el texto que escribió con base en este curso (*Compendium of Physics for Medical Students* [Compendio de física para estudiantes de medicina], 1863). Lo que a Mach le preocupaba aquí era la "economía del pensamiento", cómo comunicar los rasgos generales de los modelos conceptuales de la física, y cómo superar la tendencia de esta disciplina a compartimentalizar.

La psicología siempre fue del interés de Mach. A los 15 años de edad leyó los *Prolegómenos* de Kant, y comenzó a dar señales de los que serían luego sus compromisos con el positivismo: "De pronto se me reveló lo superfluo del papel de la cosa en sí misma" (Blackmore, 1972, p. 11). La docencia fue su oportunidad de unir sus inquietudes pedagógicas, psicológicas y científicas. El primero de sus muchos libros científicos de texto para escolares, publicado en 1886, se usó ampliamente y tuvo varias ediciones. De hecho, casi todas las figuras importantes en la física de principios del siglo XX aprendieron ciencia en los libros de texto de Mach, que ofrecían una introducción lógica e histórica de la ciencia; buscan presentarle a los alumnos las "observaciones más ingenuas, simples y clásicas y las ideas sobre las cuales han construido la física los grandes científicos" (Pyenson, 1993, p. 34). Mientras estuvo en la Universidad Alemana de Praga impartió cursos sobre "Enseñanza de la física en la escuela". En 1887, Mach fundó y coeditó la segunda revista de educación de la ciencia del mundo: *Zeitschrift für den Physikalischen und Chemischen Unterricht* [Revista sobre la instrucción de la física y la química].[17] Fue un colaborador regular de esta revista hasta que una apoplejía lo obligó a retirarse en 1898.

Mach no escribió ninguna obra sistemática sobre teoría o práctica educativa; sus ideas se encuentran dispersas en sus textos y artículos de revistas. Sin embargo, existen tres lecciones en las que se ocupa de temas pedagógicos. Una de ellas contiene el que tal vez sea su abordaje más sistemático de la educación en general y de la enseñanza de la ciencia en particular: "On instruction in the classics and the mathematico-physical sciences" [Sobre la instrucción en los clásicos y las ciencias fisicomatemáticas, Mach, 1886/1986], que se tradujo como parte de sus *Popular Scientific Lectures* [Conferencias de ciencia popular]. Sus otros artículos principales sobre pedagogía son "On instruction in heat theory" [Sobre la instrucción en la teoría del calor, 1887] y "On the psychological and logical moment in scientific instruction" [Sobre el momento psicológico y lógico en la instrucción científica, 1890], en los volúmenes 1 y 4, respectivamente, de su *Zeitschrift.*

Además de sus intereses intelectuales y prácticos en la educación, Mach tenía una notable participación política, de inspiración ilustrada, en la reforma educativa. Los mejores pensadores de la Ilustración conectaban pensamiento y acción. Como dijo Marx, el objetivo de hacer filosofía era cambiar el mundo, no sólo pensar sobre el mundo. Mach presentó sus ideas en organizaciones de maestros, habló en el Parlamento austriaco sobre la necesidad de hacer cambios en los programas escolares de estudio y estuvo

activo en las luchas por transformar la tradición, profundamente arraigada en los liceos alemanes, de separar el lenguaje y los estudios clásicos en escuelas distintas a las de ciencias y matemáticas. Mach abogó por la creación de nuevos *Einheitsschule* en los que fuera posible una educación integrada en las humanidades y las ciencias. Poco científicos han demostrado intereses tan amplios en la educación tanto formal (la escuela) como informal (el público lector). Es lamentable el relativo abandono en el que tienen a Mach los educadores de habla inglesa.

Las propuestas curriculares y pedagógicas mejor fundadas para la ciencia en la escuela tienen base en dos ideas principales: las que tienen que ver con la naturaleza y el alcance de la ciencia, y las que se refieren a la naturaleza y la práctica de la educación. Por supuesto, hay otros temas que considerar cuando se diseñan programas escolares, por ejemplo políticos, sociales y psicológicos, por mencionar sólo los más evidentes. Pero lo que uno piensa, en forma explícita o implícita, sobre la filosofía de la ciencia y sobre la filosofía de la educación determinará en gran medida la forma del programa de ciencia que se promueve. Las recomendaciones de Mach sobre la dirección de la educación científica emanan, en parte, de su teoría de la ciencia y de su teoría herbartiana de la educación. Los que siguen son algunos de los temas principales en la filosofía de la ciencia de Mach (sus ideas sobre la naturaleza de la ciencia):

- La teoría científica es una construcción intelectual para ahorrar pensamiento y así unir experiencias.
- La ciencia se equivoca; no ofrece verdades absolutas.
- La ciencia es una actividad intelectual condicionada por la historia.
- La teoría científica sólo puede comprenderse si se comprende su desarrollo histórico.

Las ideas educativas de Mach son bastante simples y poco polémicas, y para el programa de historia, filosofía y enseñanza de la ciencia no resulta difícil adoptarlas con medidas sencillas como:

- Comenzar la enseñanza con materiales concretos y familiarizar profundamente a los alumnos con los fenómenos que se discuten.
- Buscar que se comprenda el tema que se va a tratar.
- Enseñar poco, pero enseñarlo bien.
- Seguir el orden histórico de desarrollo de un tema.
- Adaptar la enseñanza al nivel intelectual y la capacidad de los alumnos.
- Ocuparse de las preguntas filosóficas que entraña la ciencia y que están en su origen.
- Demostrar cómo, del mismo modo que pueden mejorarse las ideas individuales, las ideas científicas se han revisado y mejorado continuamente, y seguirá

haciéndose así.
- Estimular la mente del alumno.

Aunque era un teórico preeminente, preocupado por la economía del pensamiento en la educación, Mach estaba convencido de que en el aula las abstracciones, como dijo Hegel de la filosofía, sólo debían alzar el vuelo al anochecer.

> Los jóvenes alumnos no deben echarse a perder con abstracciones prematuras, sino que debe dárseles a conocer el material a partir de imágenes vivas antes de que deban hacerse funcionar con métodos puramente racionales [Mach, 1886/1986, p. 4].

Una situación de lo más sencilla, que suele notarse únicamente cuando está ausente, como se ha lamentado Arnold Arons, es que:

> En la situación actual de la enseñanza de la física hay un serio desequilibrio, en el que existe una sobreabundancia de problemas numéricos que usan fórmulas en ejemplos estereotipados e inflexibles y una gran ausencia de pensamiento fenomenológico y de razonamiento [Arons, 1988, p. 18].

Otra de las preocupaciones de Mach era la tendencia a abarrotar los programas de estudio. Para él, el objetivo principal de la educación era desarrollar la comprensión, fortalecer la razón y promover la imaginación. Un programa rebosante de temas se oponía a estos propósitos:

> No he visto nada tan terrible como las pobres criaturas que han aprendido demasiado. Lo que han adquirido es una telaraña de pensamientos demasiado débil para proveer bases seguras, pero lo suficientemente complicada como para engendrar confusión [Mach, 1886/1986, p. 356].

Cien años después, este lamento sigue escuchándose a propósito del programa escolar estadunidense "de una milla de largo y una pulgada de ancho".

Mach creía en presentar la ciencia en forma histórica o, como lo planteaba, en enseñar según el enfoque genético:

> Todos los jóvenes alumnos deberían entrar en contacto íntimo y seguir hasta sus últimas consecuencias lógicas sólo unos cuantos descubrimientos matemáticos o científicos. Estas selecciones deberían estar asociadas, en forma natural, sobre todo con fragmentos de los grandes clásicos científicos. Debería hacerse que echaran raíz en la mente, y que recibieran una elaboración cuidadosa, unas cuantas ideas poderosas y lúcidas [Mach, 1886/1986, p. 368].

Los principales libros de textos de Mach sobre mecánica (1883/1960), calor (1869) y óptica (1922) siguen el método genético de exposición. Mach notó que la lógica de un tema no necesariamente era la lógica con la que se presenta, algo que sabe bien la mayor parte de los maestros, aunque no de los funcionarios. La lógica de una disciplina y la lógica de su pedagogía no son idénticas, cosa que también sostenía el contemporáneo de

Mach, y compañero positivista, Pierre Duhem:

> El método legítimo, seguro y productivo de preparar a un alumno para recibir una hipótesis física es el método histórico […] es la mejor forma, sin duda la única forma, de otorgarle a quien estudia física una comprensión correcta y clara de la organización compleja y orgánica de esta ciencia [Duhem, 1906/1954, p. 268].

El programa de la historia, filosofía y enseñanza de la ciencia no está comprometido, por fuerza, con esta pedagogía históricamente estructurada, pero sí es su primera opción: caminar en las huellas, y apreciar el trabajo, de los maestros. Este tema se analiza con cierta profundidad en el capítulo IV (la historia de los planes de estudio), y los capítulos VI (el péndulo) y VII (la fotosíntesis) resumen este enfoque.

El Círculo de Viena comenzó a reunirse con el nombre de Círculo de Ernst Mach; se veía a sí mismo como un organismo cuya función era desarrollar y promover el programa de la Ilustración mediante el conocimiento y el pensamiento científico para mejorar la sociedad y la cultura. Era un movimiento social, cultural y social positivista cuyos orígenes se encontraban en Comte, Spencer y Mach en la Europa de la segunda mitad del siglo XIX. Como dijo un autor, "el empirismo lógico estaba fundado en la tradición del pensamiento ilustrado, y comprometido a continuarla. Y más importante, estaba comprometido a renovarla" (Uebel, 1998, p. 418).[18] Bajo aspectos ligeramente diferentes (positivismo lógico, empirismo lógico), dominó la filosofía occidental hasta mediados del siglo XX.

Durante los últimos 50 años, el positivismo se ha visto criticado por muchos flancos, y ha sido particularmente atacado y desterrado en el ámbito de la educación, donde ser llamado "positivista" es como ser catalogado de "terrorista" en otros lugares. Un importante pedagogo del área de las ciencias escribe que "como ideología [el positivismo] ha conducido al dominio de las clases, las razas, los géneros y la naturaleza" (Tobin, 1998, p. 196). Sostiene además que esta insidiosa influencia ha operado durante mucho tiempo: "Las raíces del positivismo permean la ciencia y la enseñanza de la ciencia y lo han hecho desde el nacimiento de la ciencia moderna y los tiempos de Leonardo Da Vinci" (Tobin, 1998, p. 209). Otros educadores han dicho cosas aún menos amables sobre el positivismo.

Sin embargo, estas críticas no tienen fundamento; como mostraremos más adelante, se benefician y perpetúan una imagen de "positivismo provinciano". Michael Friedman sugiere, con razón, que:

> Como han ido revelando las investigaciones académicas de los últimos 15 o 20 años sobre los orígenes del empirismo lógico, la imagen simplona, radicalmente empirista de este movimiento está gravemente distorsionada. Nuestras ideas sobre el positivismo lógico y su importancia intelectual deben revisarse de origen cuando reintroducimos a los positivistas en su contexto intelectual original, el de los avances científicos revolucionarios, además de los igualmente revolucionarios avances filosóficos de su época. En consecuencia, nuestra comprensión sobre la importancia del auge y la caída del positivismo en nuestra propia época también debe revisarse de origen [Friedman, 1999, p. xv].

Debe revisarse, sin duda, por razones educativas, pero como repetiremos en este libro como un constante estribillo, los pedagogos suelen estar demasiado ocupados en otras cosas para mantenerse al día en filosofía. Pero si éste es el caso, una lección es que hay que ser un poco más modestos y cautelosos en lo que respecta a sus afirmaciones filosóficas (o históricas, psicológicas, sociológicas o políticas).

Los positivistas y los primeros empiristas lógicos pertenecían a la tradición ilustrada.

Creían en las posibilidades del progreso en todos los ámbitos: en la vida humana, la medicina, las instituciones sociales y los componentes de la cultura como el arte, la música y la literatura.[19] Muchos contribuyeron a la breve Primavera de Praga de la década de 1920 en Viena. Reconocieron que este progreso dependía por completo de la educación, tanto la formal (en escuelas, universidades, institutos) como la informal (la escritura, los periódicos, las revistas, la radio y las cajas de jabón en los parques públicos y en las esquinas). Todos sufrieron con el ascenso del nazismo, y todos huyeron o emigraron a Turquía, Gran Bretaña, Estados Unidos y otros lugares.

El programa filosófico positivista adoptó su forma canónica cuando el término "positivismo lógico" se usó para designar el trabajo, durante la década de 1920, de Moritz Schlick (1882-1936), Rudolf Carnap (1891-1970), Otto Neurath (1882-1945), Philipp Frank (1884-1966), todos inspirados por el Círculo de Viena de Ernst Mach, y el divulgador inglés del Círculo, Alfred J. Ayer (1910-1989). Los escritos sobre educación de dos positivistas fundacionales —Philipp Frank y Herbert Feigl— demuestran que la narrativa populista y educacionalista del positivismo no corresponde en absoluto a la realidad, y esto nos hace preguntarnos cómo puede haber ocurrido un error tan formidable.

Philipp Frank

Philipp Frank nació en Viena en 1884 y murió en Cambridge, Massachusetts, en 1966. En 1907, recibió su doctorado en física teórica en la Universidad de Viena, donde estudió con Ludwig Boltzmann. El primer artículo de Frank, que publicó en 1970, a la edad de 23 años —"Experience and the law of causality" [La experiencia y la ley de la causalidad, Frank, 1907/1949]—, caracteriza la que sería después su preocupación filosófica: la prolongada e informada reflexión sobre las estructuras, la metodología y la historia de la ciencia. Las reuniones del Círculo de Viena que él incitó definieron el estilo del resto de su carrera intelectual: había una seriedad en sus propósitos que iba aparejada con una genuina apertura a las opiniones y tradiciones distintas:

> Esta aparente discrepancia interna [en el grupo] nos ofreció, sin embargo, cierta amplitud de enfoque que nos permitió tener discusiones útiles con adeptos de varias opiniones filosóficas. Entre quienes participaban en nuestras discusiones se encontraban, por ejemplo, varios defensores de la filosofía católica. Algunos eran tomistas, otros en cambio, partidarios de un misticismo romántico. En nuestro grupo eran frecuentes las discusiones sobre el Viejo y el Nuevo testamento, el Talmud judío, san Agustín y los escolásticos medievales. Otto Neurath incluso se matriculó por un año en la Divinity Schoool […] y ganó un premio por el mejor artículo sobre teología moral. Esto muestra el alto grado de interés sobre el contexto cultural de las teorías filosóficas y nuestra convicción en la necesidad de mantener una mente abierta que nos permitiría discutir problemas con personas con opiniones divergentes [Frank, 1949, pp. 1-2].

Como lo fue para todos los personajes de la Ilustración, la educación era el punto crucial de la reforma social. Peter Bergmann, un físico que en 1933 era un refugiado berlinés del nazismo de 18 años de edad, recuerda:

> En esta atmósfera caldeada y nerviosa había una figura paternal que representaba lo mejor de la Universidad [de Praga], Philipp Frank […] Él nos animaba a todos los alumnos, y nos dio la sensación de una ventana intelectual abierta de par en par a las cosas que pasaban dentro y fuera de la física, y también a las cosas que pasaban fuera del país. Philipp Frank se aseguró de que existiera un contacto estrecho con la filosofía de la ciencia […] con la física experimental […] y con las matemáticas puras [Blackmore *et al.,* 2001, p. 69].

E. C. Kemble, un físico de Harvard, escribió sobre su colega que:

> Su espíritu amable y modesto, combinado con una mente luminosa y con los dones de la simplicidad y el humor, lo hacían ganarse el cariño de todos. Entendía la naturaleza de la verdad y de los criterios que deben usarse para separar la verdad de la mitología. Era un humanista, así como un científico y un filósofo […] tenía la paciencia, la percepción y el ingenio para hacer inteligibles verdades profundas a un público amplio [Frank, 1913/1998, p. X].

Sobra decir que estas descripciones de la pedagogía de Frank entran en conflicto con las ideas, extendidas en educación, de que los positivistas son simpatizantes de la perspectiva "bancaria" de la educación, dogmáticos, autoritarios y desdeñosos de sus alumnos. El hecho mismo de que se sostengan estas afirmaciones, patentemente falsas, prueba la tesis de este libro: que saber sobre historia y filosofía de la ciencia puede mejorar, por decir lo menos, el debate y la investigación sobre enseñanza de la ciencia.

Frank publicó dos artículos explícitamente educativos: "Science teaching and the humanities" [La enseñanza de la ciencia y las humanidades, Frank, 1946/1949] y "The place of philosophy of science in the curriculum of physics student" [El lugar de la filosofía de la ciencia en el plan de estudios de los alumnos de física, Frank, 1947/1949]. Lamentaba que "el resultado de la enseñanza convencional de la ciencia no ha sido un tipo de científico de mente crítica sino justo lo opuesto" (Frank, 1947/1949, p. 20). Este lamento se debe, en parte, a que

> el alumno de ciencias que ha recibido una instrucción tradicional, puramente técnica, en su campo, es extremadamente crédulo cuando se enfrenta con interpretaciones pseudofilosóficas y pseudorreligiosas que de algún modo llenan los resquicios de sus clases de ciencia [Frank, 1947/1949, p. 230].

Como consecuencia:

> Este fracaso les impide a quienes tienen un título en ciencias desempeñar en nuestra vida cultural y pública el papel crucial que les ha asignado la siempre creciente importancia técnica de la ciencia para las sociedades humanas [Frank 1947/1949, p. 231].

Por supuesto, es la historia y la filosofía de la ciencia la que es capaz de enmendar

estos déficits, o para Frank, de hecho sólo la filosofía de la ciencia, puesto que está formada por dos componentes inseparables: el análisis "lógico-empírico" y el análisis "sociopsicológico" (Frank, 1947/1949, p. 248). El primero es un análisis conceptual o semántico; el segundo, un análisis histórico cuidadoso. Frank afirma que "este análisis es la materia principal que debemos enseñarle a los estudiantes de ciencia para cerrar la brecha que deja abierta la enseñanza tradicional de la ciencia" (Frank, 1947/1949, p. 245).

El análisis lógico-empírico de las teorías científicas consiste fundamentalmente en identificar los postulados puramente lógicos, primero; en identificar los postulados observacionales, en segundo lugar, y en tercer lugar en especificar definiciones operativas mediante las cuales puedan vincularse entre sí principios y observaciones (Frank, 1947/1949, p. 243). El artículo ofrece ejemplos de análisis de este tipo sobre la controversia copernicana, los sistemas geométricos euclideanos y no euclideanos, las leyes de Newton, la teoría de la relatividad y la teoría cuántica. Frank busca que los alumnos sean capaces de disociar los postulados observacionales y los postulados que se deducen de ellos: "Puesto que en todos estos campos el problema central es la relación entre la experiencia sensorial (con frecuencia llamada determinación de hechos) y las conclusiones lógicas que pueden obtenerse a partir de ellas" (Frank, 1947/1949, p. 234). Usa la controversia copernicana para ejemplificar este punto:

> Si consultamos, por ejemplo, cómo se aborda el conflicto copernicano en un libro de ciencia cualquiera, notaremos de inmediato que la presentación dista mucho de ser satisfactoria. En casi todos los casos nos dicen que nuestros sentidos dan testimonio de que el Sol parece moverse alrededor de la Tierra. Luego se nos indica que Copérnico nos enseñó a desconfiar de este testimonio y a buscar la verdad con la razón, más que en nuestra experiencia sensorial inmediata [Frank, 1947/1949, p. 231].

Frank dice que esta descripción es errónea, y que puede probarse que es así mediante el análisis lógico-empírico: "De hecho, nuestra observación sensorial sólo muestra que en la mañana aumenta la distancia entre el horizonte y el Sol, pero no nos dice si el Sol está ascendiendo o el horizonte descendiendo" *(idem)*.

El postulado que dice que "el Sol se está moviendo" es una elaboración de la evidencia sensorial, no la evidencia sensorial; es lo que Paul Feyerabend más tarde llamaría una "interpretación natural" de la experiencia sensorial (Feyerabend, 1975, caps. 6-7). Frank dice sin ambages que la teoría afecta la observación; la interesante tarea filosófica, una con la que están comprometidos los empiristas, es determinar si existe algún nivel de los postulados observacionales que no sean afectados. La conclusión que obtiene Frank a partir del caso copernicano es la misma que resulta de la mayor parte de los ejemplos que discute, y que es:

> Por no poder presentar de manera adecuada esta disputa histórica, nuestra enseñanza tradicional de la física pierde la oportunidad de inculcar en los alumnos una comprensión de las relaciones entre la ciencia, la religión

> y el gobierno, que es tan útil para que se adapten a la vida social moderna. Si tuviera una buena comprensión del conflicto copernicano y otros similares, el estudiante de ciencia se encontraría en una posición ventajosa para entender los problemas sociales y políticos. Al menos, se encontraría al mismo nivel que los estudiantes de humanidades [Frank, 1947/1949, p. 234].

Frank es un defensor de la educación liberal; afirma que los alumnos deberían dominar diversas materias, y que deberían ponerse de manifiesto, en la medida de lo posible, las relaciones entre ellas. Opina que las humanidades pueden enseñarse desde adentro de la ciencia:

> El alumno de ciencia adquirirá la costumbre de examinar los problemas sociales y religiosos desde su propio campo, y de entrar al ámbito de las humanidades por una puerta abierta de par en par […] no hay mejor manera de entender las bases filosóficas de las creencias políticas y religiosas que mediante su conexión con la ciencia [Frank, 1946/1949, p 281].

En el capítulo X examinaremos con más atención esta última afirmación.

Herbert Feigl

Herbert Feigl es el segundo positivista clásico cuya teoría y práctica educativa contradicen la imagen popular del positivismo tal como la proyectan los textos sobre educación. Nació en 1902 en Reichenberg, por entonces en el Imperio austrohúngaro, una región de los Sudetes que más adelante se incorporó a Checoslovaquia. Murió en Mineápolis en 1988.[20] Cuando tenía 16 años, leyó un artículo sobre la teoría de la relatividad especial y se dedicó a refutarla, sin éxito. Dijo que ese intento le hizo aprender muchas matemáticas y física. A los 20 años de edad, entró a la Universidad de Viena a estudiar filosofía con Moritz Schlick (y, por añadidura, a estudiar matemáticas, física y psicología). Fue miembro fundador del Círculo de Viena, que estableció Schlick en 1924 como un grupo de discusión vespertina semanal, y permaneció en él hasta que emigró a Estados Unidos en 1930. En 1927, Feigl presentó su tesis doctoral sobre "El azar y la ley: Una investigación epistemológica sobre la inducción y la probabilidad en las ciencias naturales". En Estados Unidos, trabajó en Harvard con Percy Bridgman sobre los fundamentos de la física, incluida la teoría de las definiciones operacionales de los términos teóricos. En 1940, fue nombrado profesor de filosofía en la Universidad de Minnesota; en 1953, fundó el Minnesota Center for the Philosophy of Science, que contribuiría de modo decisivo a la articulación y difusión de la filosofía del empirismo lógico en Estados Unidos y el resto del mundo, en particular mediante sus contribuciones a los muchos volúmenes de los *Minnesota Studies in Philosophy of Science* [Estudios de filosofía de la ciencia de Minnesota].

Feigl publicó un artículo de naturaleza explícitamente educativa: "Los objetivos de la

educación en nuestra era de la ciencia: Reflexiones de un empirista lógico" (Feigl, 1955). El artículo fue una contribución para *The Fifty-fourth Yearbook of the National Society for the Study of Education* [Quincuagésimo cuarto anuario de la Sociedad Nacional para el Estudio de la Educación], que se ocupó de las "filosofías modernas de la educación". Incluyó contribuciones de tomistas (Jacques Maritain), cristianos liberales (Theodore Greene), marxistas (Robert Cohen) y otros. Feigl, contra las concepciones fatalistas o mecánicamente deterministas de la libertad humana, considera que el fomento de la autonomía individual es el logro educativo por excelencia.[21]

> En la medida en la que la educación promueva la formación de la inteligencia y el carácter de modo tal que permita el aprendizaje libre, las decisiones racionales y la reflexión crítica, los seres humanos así educados tendrán una excelente oportunidad para convertirse en dueños de sus propias actividades y logros [Feigl, 1955, p. 322].

Ésta es una repetición casi literal de las primeras frases del texto de Kant de 1784 "Qué es la Ilustración", y no es accidental:

> La Ilustración es la liberación del hombre de su culpable incapacidad. La incapacidad significa la imposibilidad de servirse de su inteligencia sin la guía de otro. Esta incapacidad es culpable porque su causa no reside en la falta de inteligencia sino de decisión y valor para servirse por sí mismo de ella sin la tutela de otro. *¡Sapere aude!* ¡Ten el valor de servirte de tu propia razón!: he aquí el lema de la ilustración [Kant, 1784/2003, p 54. Tomado de Kant, *Filosofía de la historia,* traducción de Eugenio Ímaz, México, FCE, 1994].

No sorprende que Feigl abogue por una enseñanza de la ciencia que esté basada en la historia y la filosofía. Dice:

> Tengo la impresión de que la enseñanza de la ciencia podría hacerse mucho más atractiva, agradable y provechosa en general mediante el tipo de enfoque que se practica con mayor frecuencia en las artes y las humanidades. Las clases de ciencia aburridas y áridas pueden ser reemplazadas por aventuras intelectuales muy emocionantes si se les permite a los alumnos contemplar el trabajo científico desde una perspectiva más amplia. Las preocupaciones por los valores puramente prácticos de la ciencia aplicada han eclipsado los valores intelectuales y culturales de la búsqueda del conocimiento [Feigl, 1955, p. 337].

En añadidura, hace suya la postura educativa liberal ortodoxa, para la cual "la capacitación en ciencias y la actitud científica sin duda deberían combinarse con estudios en historia, literatura y artes" (Feigl, 1955, p. 338). Por más importante que sea la ciencia, no es lo único que Feigl atesora:

> Considero que la música verdaderamente buena es el logro supremo del espíritu humano […] Me siento inclinado a pensar que la música expresa (más que la poesía) lo que es inexpresable en el lenguaje cognitivo, y en particular el científico [Cohen, 1981, p. 5].

Feigl le adjudica un papel importante a los valores, y reconoce que son parte intrínseca de la educación; que moldean y dirigen los procesos educativos, y que son

cruciales para establecer los objetivos de la educación. Pero le asigna un papel aún más importante a la racionalidad y a su papel en la educación. Cree que la concepción aristotélica clásica del hombre como un animal racional "puede seguir siendo un buen punto de partida" (Feigl, 1955, p. 335), y luego explica la idea de educación, haciendo énfasis en que la racionalidad suma al menos seis virtudes del pensamiento y la conducta:

- claridad de pensamiento (usar el lenguaje en forma significativa y evitar confusiones gratuitas);
- consistencia en el razonamiento (que esté de acuerdo con los principios de la lógica formal);
- fiabilidad de las afirmaciones de conocimiento (si las evidencias son demasiado débiles no hay que creer en estas afirmaciones);
- objetividad de las afirmaciones de conocimiento (cualquiera que esté suficientemente preparado con inteligencia y capacidad debe poder poner a prueba las afirmaciones de conocimiento);
- racionalidad del comportamiento intencional (debe obtenerse la máxima cantidad de resultados positivos a costa de la mínima cantidad de resultados negativos), y
- racionalidad moral (apegarse a los principios de justicia, equidad o imparcialidad, y abstenerse de la coerción y la violencia en la resolución de conflictos de interés, Feigl, 1995, pp. 335-336 y ss.). La racionalidad no sólo es una virtud intelectual; está íntimamente vinculada con la conducta, o al menos con una disposición que tiende hacia la conducta racional.[22]

El mito y la realidad del positivismo

Existe un desajuste entre los errores del positivismo tal como lo esbozan los maestros de ciencia y los principios y la práctica de la enseñanza de la ciencia que defienden al menos dos positivistas fundacionales: Philipp Frank y Herbert Feigl. Una fuente de confusión en los textos educativos sobre positivismo es que los educadores suelen entender el positivismo como sinónimo de materialismo o realismo, posturas metafísicas que fueron explícitamente rechazadas por el positivismo. Este rechazo definió el positivismo machiano y la filosofía de los positivistas lógicos que lo precedieron. Eventualmente, y con buenas razones enunciadas por Karl Popper (1902-1994), la metafísica fenomenológica del positivismo se abandonó puesto que era inconsistente con los objetivos de la ciencia. Sin embargo, la teoría educativa de Frank y de Feigl puede sobrevivir a la muerte de su metafísica (véase el cuadro II.1).

Cuadro II.1. *Desajuste entre los mitos del positivismo y la postura de Frank y Feigl*

Mitos educativos sobre el positivismo	*La postura de Frank y Feigl*
El positivismo considera que el conocimiento científico es seguro y privilegiado.	Están comprometidos con la falibilidad de la ciencia. No hay nada (revelación, metafísica, intuición) que la ciencia privilegie, más allá de su propia metodología y del conocimiento establecido.
El positivismo no reconoce la dependencia teórica de la observación.	Reconocen que la teoría depende de la observación, pero tratan de identificar y aislar dicha dependencia.
El positivismo considera el conocimiento científico una codificación de los datos de los sentidos.	Pensarían que reducir la ciencia a la codificación de los datos de los sentidos es una idea rarísima.
El positivismo fomenta el aprendizaje acrítico de los textos canónicos.	Rechazan la enseñanza y el aprendizaje acríticos y no reflexivos.
El positivismo está vinculado con una psicología conductista.	Rechazan la reducción conductista de la mente al mero comportamiento, y también rechazan considerar la mente una "ficción" teórica. Apoyan el estudio científico de la mente, y rechazan las concepciones dualistas.
El positivismo considera que el conocimiento es una mercancía.	Les horrorizaría esa idea.
El positivismo cree que el conocimiento científico es fácil de transmitir.	Sostienen lo opuesto.
El positivismo es incapaz de ver el efecto de la cultura en la generación del conocimiento científico.	Dicen explícitamente que deben reconocerse los efectos de la cultura, pero sostienen que este reconocimiento no compromete, en sí mismo, la verdad de las afirmaciones de conocimiento.
El positivismo considera que el conocimiento científico carece de historia y está alejado de la sociedad.	Dedicaron la mayor parte de su vida intelectual a demostrar exactamente lo contrario.
El positivismo ignora la dimensión de valor de la ciencia.	Se ocupan en forma explícita y detallada de las dimensiones de valor de la ciencia.
El positivismo está divorciado, o es indiferente, de las acciones para mejorar la sociedad y la cultura.	Respaldaron las causas sociales de izquierda, igual que Ernst Mach y la mayor parte de los miembros del Círculo de Viena.
El positivismo es la ideología dominante de la sociedad occidental.	No podían más que desear que la ciencia fuera la ideología dominante para comprender la naturaleza y la sociedad.
El positivismo se apega a la tradición ilustrada.	Están de acuerdo.

En síntesis, las opiniones educativas de Frank y Feigl (y de los positivistas canónicos) son iguales a las del programa de historia, filosofía y enseñanza de la ciencia, y las mismas que mantienen la tradición educativa liberal angloamericana y la *Bildung* europea. El severo desfase entre el mito y la realidad que vimos arriba se explica, en parte, por la reducción que suele hacerse de todo el positivismo y el empirismo lógico a su variedad "madura". George Reisch escribe:

> El empirismo lógico fue, en su origen, un proyecto que buscaba en forma deliberada vincularse no sólo con la ciencia sino con los avances sociales y culturales progresistas (tanto en la Europa de la década de 1920 como en el Estados Unidos de las de 1930 y 1940). Sin embargo, en el transcurso de unos diez años, de 1949 a 1959 más o menos, se convirtió en el proyecto escrupulosamente apolítico de lógica aplicada y semántica que la mayor parte de los filósofos asocian hoy con las palabras "empirismo lógico" o "positivismo lógico" [Reisch, 2005, p. xi].

No hay duda de que la variedad madura del positivismo, con su insistencia en una epistemología fenomenológica y su rechazo (por ser "metafísico") de cualquier intento por buscar mecanismos subyacentes, invisibles a los fenómenos, engendró y apuntaló el conductismo en psicología, y la extensión de esta ideología a la educación. Se trata de otro caso en el que los psicólogos, los científicos sociales y los educadores se convirtieron en entusiastas acríticos de una filosofía de la ciencia endeble.[23]

Dos siglos después de Priestley, John Dewey (1859-1952) repitió la postura central de la tradición de la educación ilustrada cuando, en 1910, escribió:

> El método científico no sólo es un método que ha resultado conveniente para examinar algún asunto abstracto por razones puramente técnicas. Representa el único método de pensamiento que ha probado ser fructífero para todos los temas [Dewey, 1910, p. 127].

Dewey desarrolló esta convicción en su justamente célebre libro *Democracy and Education* [Democracia y educación] en 1916:

> Nuestra predilección por aceptar las afirmaciones en forma prematura, nuestra aversión a suspender el juicio, son señales de que tendemos, naturalmente, a interrumpir el proceso de la puesta a prueba. Nos sentimos satisfechos con aplicaciones miopes, superficiales e inmediatas […] La ciencia representa una defensa en la carrera contra estas propensiones naturales y los males que emanan de ellas […] Es artificial (un arte adquirido), no espontánea; aprendida, no nativa. A este hecho se debe el lugar único e invaluable de la ciencia en la educación [Dewey, 1916/1966, p. 189].

En 1938, en su contribución a la *International Encyclopedia of Unified Science* [Enciclopedia internacional de ciencia unificada], desarrolló aún más esta idea:

> En síntesis, la actitud científica, tal como se concibe aquí, es una cualidad que se manifiesta en todas las áreas de la vida. ¿Qué es, entonces? En términos negativos, es liberarse del control de la rutina, el prejuicio, el dogma, la tradición no cuestionada, el puro interés propio. En el lado positivo, es la voluntad de inquirir, de examinar, de discriminar, de sacar conclusiones sólo con base en la evidencia, y eso tras un esfuerzo por recolectar toda la evidencia disponible. Es la intención de llegar a creer cosas, y de poner a prueba aquellas que se creen, con base en los hechos observados, reconociendo también que los hechos no tienen significado alguno excepto en la medida en que nos conducen hacia las ideas [Dewey, 1938, p. 31].

Dewey, como el filósofo aplicado y comprometido que era, lamenta "el espíritu en el que suelen enseñarse las ciencias" (Dewey, 1938, p. 36), y deplora que "las materias científicas se enseñan en buena medida como cuerpos de conocimientos, más que como un método de ataque y aproximación universal" *(idem.).*[24] Sobre el aislamiento educativo y cultural de la ciencia, advierte que "existen poderosos intereses especiales que procuran mantener la ciencia aislada a toda costa, de modo que las vidas comunes sean inmunes a su influencia" (Dewey, 1938, p. 37). Esto último se ha convertido en un discurso de todos los regímenes autoritarios.

Dewey enumera algunos temas que serán recurrentes a lo largo de este libro:

- que la ciencia requiere al menos de un mínimo de pruebas sofisticadas, y no únicamente de valoraciones observacionales; la ciencia es experimental;
- que el pensamiento y los procedimientos científicos no son naturales, y no se desarrollan en forma espontánea durante el proceso de maduración; la ciencia

debe ser enseñada;
- que el pensamiento científico —“los hábitos de la mente” o el “temperamento científico”— debe aplicarse fuera del laboratorio y es la forma de analizar y abordar los problemas sociales y culturales, así como los problemas naturales y ambientales.

Como veremos, existe un debate en torno a cada una de estas afirmaciones, y muchos educadores las rechazan todas por igual.

A partir del siglo XVIII, la ciencia moderna se extendió más allá de Europa occidental, y durante los dos siglos siguientes se convirtió en la ciencia ortodoxa y universal que conocemos hoy.[25] Cientos de miles de hombres y mujeres de casi todos los países, creencias, castas y clases contribuyen a la ciencia, y millones de alumnos la estudian.

La difusión temprana de la ciencia estuvo relacionada con los viajes de descubrimiento y con los programas imperialistas de diversas potencias europeas, que llevaron la ciencia de Galileo, Huygens, Newton, Leibniz y otros a cada rincón del planeta.[26] Las ideas de la Ilustración acompañaron, si bien de forma irregular, a la ciencia moderna y a los comerciantes, colonizadores y misioneros que se dispersaron por el globo. Si bien las personas con las que los poderes europeos entraban en contacto por lo general anhelaban el poder tecnológico de la ciencia, los valores de la Ilustración no solían ser bienvenidos. Las ideas ilustradas de libertad de expresión y de asociación, el estado de derecho, el cuestionamiento abierto a la autoridad y la legitimidad de los poderes hereditarios, la separación de Iglesia y Estado, así como la descriminalización de las creencias sacrílegas y los comportamientos inmorales, el acceso universal a la educación, los derechos humanos, etc., no eran unánimemente bienvenidos ni siquiera en Europa, donde se encontraban los defensores públicos de la Ilustración y el liberalismo, y por lo general eran aún peor recibidos en las colonias europeas.

Europa ha visto dos siglos de luchas por la "ilustración de la educación". Esta batalla se ha dado básicamente entre las iglesias (la católica romana y la protestante) y los defensores de la Ilustración que buscaban modelar sociedades más liberales, seculares, democráticas y educadas. A mediados del siglo XIX, Robert Owen fundó una escuela secular en su complejo socialista-industrial en New Lanark; se trató de un esfuerzo solitario, al que se opusieron tanto el gobierno como la Iglesia. La primera subvención del gobierno británico para la educación (20 000 libras) se concedió en 1833, y todo el dinero se destinó a escuelas clericales. En España, Portugal, Italia, Polonia y otros países, la Iglesia católica romana controlaba la educación en forma directa, y en muchos de ellos lo hizo hasta finales del siglo XX. El papa Pío IX, en su *Syllabus sobre los errores,* condenó a todos los que afirmaban que:

> La óptima constitución de la sociedad civil exige que las escuelas populares, concurridas de los niños de cualquiera clase del pueblo, y en general los institutos públicos, destinados a la enseñanza de las letras y a otros estudios superiores, y a la educación de la juventud, estén exentos de toda autoridad, acción moderadora e injerencia de la Iglesia, y que se sometan al pleno arbitrio de la autoridad civil y política, al gusto de los gobernantes, y según la norma de las opiniones corrientes del siglo.

Esta convicción central de la Ilustración se cita como el error 47 de los 80 que se identifican en el "modernismo".[27] En Europa, América Latina y las colonias europeas, la

influencia de la Iglesia en la educación (la contratación de profesores, la determinación de los programas, el rechazo de la aplicación del darwinismo a los orígenes humanos, la instrucción religiosa obligatoria, etc.) se mantuvo hasta finales del siglo XX. Por supuesto, las iglesias y los misionarios eran, por lo general, los únicos grupos a los que les interesaba la educación en las colonias. Sin su devoción y sus esfuerzos, habría existido muy poca —o ninguna— educación para las niñas, y casi todos los líderes en las luchas de liberación en África y Asia están en deuda con su educación en escuelas de misioneros.

Como sea, la ciencia moderna y la educación permeada por la Ilustración en efecto se difundió a partir de Europa. El ejemplo de Turquía y de las reformas educativas que inició Mustafa Kemal (Atatürk) en la década de 1920 es particularmente interesante, pero demasiado complejo para desarrollar aquí. También complejo, pero más fácil de describir brevemente, es el caso de las reformas educativas de Nehru en India en la década de 1950, sobre las cuales profundizaremos un poco, puesto que ayudan a destacar algunos de los temas de este libro.

India

Está claro que India es uno de los casos en los que la introducción a un país de la enseñanza de la ciencia inspirada por la Ilustración y los problemas que esto produjo ofrecen material para análisis filosóficos, políticos y educativos. En el siglo XIX, Gran Bretaña, con el decidido impulso de Charles Trevelyan (1807-1886), ofreció a la elite india la educación inglesa, que incluía clases de ciencias (y cricket), pero indudablemente no albergaba un propósito o una agenda ilustrada.[28] Un siglo después, con la independencia, ocurrió un inmenso cambio, al menos ideológico. La Constitución de la India recién independizada hizo muchas declaraciones que fueron objeto de atención internacional, pero una de ellas es única. El artículo 51A(h) de la Constitución de India declara que un deber fundamental del Estado es: “Desarrollar el temperamento científico, el humanismo y el espíritu de indagación y de reforma”. ¡Qué más querrían Benjamin Franklin, Thomas Jefferson, Joseph Priestley, Ernst Mach, John Dewey, los positivistas, casi todas las asociaciones para el avance de la ciencia y las asociaciones nacionales de maestros de ciencia que incluir el deber de desarrollar una “actitud científica” o un “hábito mental científico” o una “sensibilidad científica” en una constitución nacional! ¿Cómo llegó allí esta disposición, qué logró, y qué controversias intelectuales, educativas y políticas ha generado? Todas éstas son preguntas muy esclarecedoras.

El término “temperamento científico” y el programa indio de temperamento científico tienen su origen en las convicciones de Pandit Jawaharlal Nehru (1889-1964), que en 1947 tomó posesión como el primer presidente de la India independiente. Las ideas de

Nehru están articuladas en su libro *The Discovery of India* [El descubrimiento de India, 1946/1981]. Sus convicciones vienen en buena medida del título en ciencias que obtuvo en Cambridge entre 1907 y 1910, en un momento en el que las corrientes ilustradas, liberales y socialistas se dejaban sentir en los pasillos universitarios y en amplios sectores de la sociedad inglesa.[29] Nehru elogia así, en términos inequívocamente ilustrados:

> El temperamento aventurero pero crítico, la búsqueda de la verdad y de conocimiento nuevo, la negativa de aceptar cualquier cosa sin probarla y evaluarla, la capacidad de modificar conclusiones previas a la luz de nuevas evidencias, la dependencia de los hechos observados, y no de las teorías preconcebidas, la rigurosa disciplina de la mente [Nehru, 1946/1981, p. 36].

Es importante, aunque con frecuencia se pasa por alto, que las ideas de Nehru eran apoyadas y fortalecidas por Bhimrao Ramji Ambedkar (1891-1956), que era su colaborador político, el primer ministro de Justicia de la India independiente, escritor en jefe de la Constitución y un opositor enérgico e incansable del sistema indio de castas y de las creencias hinduistas que lo apuntalan.[30] John Dewey tuvo una enorme influencia sobre él mientras fue estudiante en la Universidad de Columbia; todo lo que tenía que ver con la filosofía y el programa social de Dewey hacía eco en sus propias opiniones y experiencias (Mukherjee, 2009). Ambedkar y Nehru se dieron cuenta de que los males más profundamente enraizados, el retraso, la irracionalidad y las desigualdades de la sociedad y la cultura india no podían hacerse desaparecer mediante la legislación: se requería educación, educación científica en particular, para modificar las actitudes y las orientaciones. El Partido del Congreso reiteró, en su Resolución de Políticas Científicas de 1958, su compromiso con la ciencia y la tecnología modernas y con el temperamento científico.

Como era de preverse, este cambio no ocurrió a gran escala. India adoptó, igual que China y otras sociedades recientemente modernizadas, una educación científica técnica e industrial y políticas científicas —energía nuclear, enormes presas, la Revolución Verde, la industria agropecuaria, las industrias manufactureras, institutos tecnológicos de primer nivel internacional, centros de investigación—, pero la vida cotidiana en los pueblos y las ciudades, e incluso en las universidades de elite, no cambiaron mucho. En julio de 1981, el Centro Nehru en Delhi publicó otra declaración de temperamento científico, firmada por muchos científicos e intelectuales importantes (Haksar *et al.,* 1981), la cual Nehru esperaba que lograra reposicionar el temperamento científico como una prioridad educativa y cultural nacional. La declaración era breve y afirmaba que:

> El temperamento científico […] lleva a concluir que los acontecimientos ocurren como resultado de la interacción de fuerzas naturales y sociales que pueden conocerse y describirse, y no porque alguien, por más importante que sea, los haya determinado [en Nanda, 2003, p. 210].

Como veremos en el capítulo X, se trata de una afirmación naturalista, tanto en el plano metodológico como en el ontológico.

Tan pronto se publicó la reformulación de esta convicción de origen ilustrado, se vio barrida por un tsunami de críticos poskuhnianos, poscoloniales, posmodernos, multiculturales y defensores del conocimiento tradicional. Los partidarios del temperamento científico fueron etiquetados, como era de esperarse, de positivistas. Los críticos de las declaraciones sobre el temperamento científico recurrieron a los supuestos hallazgos de los estudiosos contemporáneos de la ciencia; nombres como Kuhn, Feyerabend, Marcuse y Latour aparecieron en forma recurrente en las publicaciones. Ashis Nandy publicó en 1981 una "Refutación del temperamento humanista", ampliamente discutida, que denunciaba la "lógica obscena y amoral de la ciencia" y que informaba a sus lectores que "la ciencia no está menos influida por la cultura y la sociedad que cualquier otro emprendimiento humano" (Nandy, 1981, en Nanda, 2003, p. 212).

Este discurso se desarrolló en forma de libro, *The Intimate Enemy* [El enemigo íntimo], "respaldado por 75 años de trabajo en historia, filosofía y sociología de la ciencia" (Nandy, 1983). Nandy y otros críticos como él querían "descolonizar la mente india". Hubo infinidad de libros, antologías, artículos y seminarios que proclamaban y defendían las mismas tesis antiilustradas: las supuestas verdades y el universalismo de la ciencia occidental son una ilusión; no existe el método científico ni una perspectiva privilegiada; la ciencia ortodoxa no es más que una herramienta de los opresores colonialistas; la ciencia védica originaria y las tecnologías indias están a la par tanto intelectual como prácticamente de la ciencia moderna; la cultura india debería preferirse a la cultura extranjera y opresora, etc. Aún hay investigadores connotados que postulan algunas de estas ideas, si no es que todas, en numerosas revistas internacionales de enseñanza de la ciencia.

En India, las "guerras de la ciencia" han tenido consecuencias sociales serias y reales. Un ejemplo trágico es el del doctor Narendra Dabholkar, asesinado en plena calle en agosto de 2013 a causa de su campaña para que el Parlamento del estado de Maharashtra adoptara una ley contra las supersticiones. Cuando el partido nacionalista indio Bharatiya Janata llegó al poder por primera vez en Delhi (1988) y obtuvo escaños en varios estados, se veía con buenos ojos, increíblemente, que la astrología ocupara un espacio (y un presupuesto) codo a codo con los departamentos de astronomía de las universidades; lo mismo pasaba con diversas prácticas médicas tradicionales. El temperamento científico como un objetivo curricular desapareció de numerosos programas escolares.[31]

Treinta años después de que el Centro Nehru publicara su Declaración de Temperamento Científico y ocurriera el debate subsiguiente, científicos e intelectuales

reactivaron el asunto con la declaración de Palampur, publicada en 2011 *(The Palampur Declaration),* que retomó las esperanzas nehruvianas originales, repitió los argumentos centrales de la declaración de 1981 y afirmó:

> Durante los últimos 30 años ha ocurrido un incremento notable en la exhibición pública de identidades religiosas y sectarias, un influjo de cultos irracionales, la glorificación de las prácticas oscurantistas, de la religiosidad y de la ostentación de los símbolos religiosos. Esto ha proporcionado las bases ideológicas para ocasionales acciones brutalmente anticientíficas en los ámbitos tanto público como privado. Aún es muy prevalente la discriminación basada en casta, género e identidad étnica, perpetuada con base en creencias irracionales y en supersticiones, y constituye una mácula para nuestra sociedad [VVAA, 2011, p. 2].

El texto identifica la distinción entre conocimiento e información, y afirma que India tiene mucho de la última, pero que la educación debería aspirar a la primera.

> La educación moderna es el elemento que determina en forma más decisiva la información, el conocimiento y la actitud científicas. Es verdad que a lo largo de los años la base de información científica se ha ampliado en el país, pero sería ilusorio asumir que esta información está transformándose en conocimiento y por lo tanto engendrando un cambio de actitud. Desafortunadamente, nuestro sistema educativo aún no ha evolucionado lo suficiente para inculcar el temperamento científico en las mentes jóvenes [VVAA, 2011, p. 5].

Estos científicos, políticos y educadores indios deben horrorizarse al leer las aspiraciones para la educación de la ciencia que albergan algunos intelectuales en el mundo "avanzado", entre ellas que esta educación les permita saber a los ciudadanos "en qué parte del horno poner un soufflé [y] cómo reducir los recibos de electricidad" (Collins y Pinch, 1992, p. 150). Sería lindo que sirviera para esto, pero el problema cultural y educativo grave es si debería servir para algo más, si un efecto de derrama debería ser la prueba de que se cuenta con una educación científica competente.

Estos debates en India y en otros países demuestran claramente las distintas formas en las que la educación se inserta en la filosofía, la política, la economía y la religión. La tradición ilustrada en la enseñanza de la ciencia siempre lo ha reconocido, y ha pugnado porque se adquieran conocimientos históricos y filosóficos que le permitan a los maestros y a los funcionarios entender mejor su propia tradición científica y relacionarse en forma más productiva con sus tradiciones sociales, culturales e históricas. El programa de historia, filosofía y enseñanza de la ciencia es una Iglesia incluyente en la cual la tradición ilustrada es sólo una de las congregaciones. Algunos partidarios de la educación técnica llaman a mejorar la historia y la filosofía de la ciencia, y todos los partidarios de la educación liberal tienen clara la necesidad de la historia y la filosofía de la ciencia (y de la historia y la filosofía de cualquier materia que se enseñe), pero la tradición ilustrada coloca a la historia y la filosofía de la ciencia en el papel protagónico a causa de la importancia que le concede a la ciencia y por la actitud científica y la mentalidad que ésta requiere. De Locke y Priestley a Mach, Dewey y los positivistas, la tradición ilustrada ha conformado un cuerpo de métodos, argumentos y análisis en continuo desarrollo que pueden arrojar luz sobre los debates sociales, culturales y educativos contemporáneos.

Neil Postman, coautor del clásico *Teaching as a Subversive Activity* [La enseñanza como una actividad subversiva, Postman y Weingartner, 1969], publicó hace poco un libro con el provocativo título *Building a Bridge to the Eighteenth Century: How the Past Can Improve Our Future* [Construyendo un puente al siglo XVIII: Cómo el pasado puede mejorar nuestro futuro, Postman, 1999]. Tras exponer la típica letanía de los males sociales y culturales modernos que nos aquejan, escribe:

> Con esto en mente, sugiero que dirijamos la atención al siglo XVIII. Allí encontraremos, me parece, ideas que ofrecen una dirección humana para el futuro, ideas que podemos transportar con confianza y dignidad a lo largo del puente hacia el siglo XXI [Postman, 1999, p. 17].

Haciendo eco de Kant y de todos los críticos inteligentes, Postman reconoce que los rasgos que definen la Ilustración histórica son su espíritu, su actitud y sus métodos. Hay muchas personas que estarían de acuerdo:

> No vayamos al siglo XVIII para copiar las instituciones que inventó sino para entender mejor lo que necesitamos. Vayamos en busca de aprendizajes, más que de modelos. Adoptemos los principios, no los detalles [Postman, 1999, p. 17].

Arons, A. B. (1998), "Historical and philosophical perspectives attainable in introductory physics courses", *Educational Philosophy and Theory,* vol. 20, núm. 2, pp. 13-23.

Ayer, A. J. (coord.) (1959), *Logical Positivism,* Nueva York, The Free Press. [Hay edición en español: *El positivismo lógico,* trad. de L. Aldama, México, FCE, 1965.]

Berlin, I. (coord.) (1956), *The Age of Enlightenment: The Eighteenth Century Philosophers,* Nueva York, Mentor Books.

Bhargava, P. M., y C. Charkabarti (2010), *Angels, Devil and Science: Collection of Articles on Scientific Temper,* Nueva Delhi, National Book Trust.

Blackmore, J. T. (1972), *Ernst Mach: His Work, Life and Influence,* Berkeley, University of California Press.

Blackmore, J. T., R. Itagaki y S. Tanaka (coords.) (2001), *Ernst Mach's Vienna 1895-1930,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Boorstin, D. J. (1948), *The Lost World of Thomas Jefferson,* Boston, Beacon Press.

Bradley, J. (1963-1968), "A scheme for the teaching of chemistry by the historical method", *School Science Review,* vol. 44, pp. 549-553; vol. 45, pp. 364-368; vol. 46, pp. 126-133; vol. 47, pp. 65-71, 702-710; vol. 48, pp. 467-474; vol. 49, pp. 142-150, 454-460.

Bradley, J. (1971), *Mach's Philosophy of Science,* Londres, Athlone Press of the University of London.

Brooke, J. H. (1987), "Joseph Priestley (1733-1804) and William Whewell (1794-1866): Apologists and historians of science. A tale of two stereotypes", en R. G. W. Anderson y C. Lawrence (coords.), *Science, Medicine and Dissent: Joseph Priestley (1733-1804),* Londres, Wellcome Trust & Science Museum, pp. 11-27.

Buchwald, J., y M. Feingold (2012), *Newton and the Origin of Civilisation,* Princeton, Princeton University Press.

Burman, E. (1984), *The Inquisition: The Hammer of Heresy,* Wellingborough, Dorset Books. [Hay edición en español: *Los secretos de la Inquisición,* Barcelona, Martínez Roca, 1988.]

Cassirer, E. (1932/1951), *The Philosophy of the Enlightenment,* Princeton, Princeton University Press. [Hay edición en español: *Filosofía de la ilustración,* trad. de Eugenio Ímaz, México, FCE, 1972).

Cohen, R. S. (coord.) (1981), *Inquiries and Provocations: Selected Writings of Herbert Feigl 1929-1974,* Dordrecht, Reidel.

Collins, H. M., y T. Pinch (1992), *The Golem: What Everyone Should Know about Science,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *El*

gólem. Lo que todos debemos saber acerca de la ciencia, Madrid, Crítica, 1997.]

Condorcet, N. (1976), *Selected Writings,* K. M. Baker (coord.), Indianápolis, Bobbs-Merrill.

Dearden, R. F. (1975), "Autonomy as an educational ideal I", en S. C. Brown (coord.), *Philosophers Discuss Education,* Londres, Macmillan, pp. 3-18.

Dewey, J. (1910), "Science as a subject-matter and as method", *Science,* vol. 31, pp. 121-127. Reproducido en *Science & Education,* 1994, vol. 4, núm. 4, pp. 391-398.

———— (1916/1966), *Democracy and Education,* Nueva York, Macmillan. [Hay edición en español: *Democracia y educación: Una introducción a la filosofía de la educación,* Barcelona, Morata, 1995.]

———— (1938), "Unity of science as a social problema", en O. Neurath, R. Carnap y C. W. Morris (coords.), *International Encyclopedia of Unified Science,* vol. 1, pp. 29-38.

Duhem, P. (1906/1954), *The Aim and Structure of Physical Theory,* Princeton, Princeton University Press. [Hay edición en español: *La teoría física. Su objeto y estructura,* Barcelona, Herder, 2009.]

Dupré, L. (2004), *The Enlightenment and the Intelectual Foundations of Modern Culture,* New Haven, Yale University Press.

Feigl, H. (1955), "Aims of education for our age of science: Reflections of a logical empiricist", en N. B. Henry (coord.), *Modern Philosophies and Education: The Fifty-fourth Yearbook fo the National Society for the Study of Education,* Chicago, University of Chicago Press, pp. 304-341. Reimpreso en *Science & Education,* vol. 13, núms. 1-2, 2004.

———— (1974/1981), "No pot of message", en R. S. Cohen (coord.), *Inquiries and Provocations: Selected Writings 1929-1974,* Dordrecth, Reidel, pp. 1-20.

Feyerabend, P. K. (1966), "Herbert Feigl: A biographical sketch", en P. K. Feyerabend y G. Maxwell (coords.), *Mind, Matter, and Method: Essays in Philosophy of Science and Science in Honor of Herbert Feigl,* Minneapolis, University of Minnesota Press, pp. 3-13.

Feyerabend, P. K. (1975), *Against Method,* Londres, New Left Books. [Hay edición en español: *Contra el método,* Madrid, Tecnos, 2003.]

Frank, P. (1907/1949), "Experience and the law of causality", en *Between Physics and Philosophy,* Cambridge, Harvard University Press, pp. 53-60. [Hay edición en español: *Entre la física y la filosofía,* Buenos Aires, Editorial Losada, 1945.]

———— (1931/1998), *The Law of Causality and its Limits,* R. S. Cohen (coord.), Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

———— (1946/1949), "Science teaching and the humanities", *Etc: A Review of*

General Semantics, vol. 4, núm. 3. Reimpreso en su *Modern Science and its Philosophy*, Cambridge, Harvard University Press, pp. 228-259.

———— (1947/1949), "The place of philosophy of science in the curriculum of the physics student", *American Journal of Physics,* vol. 15, núm. 3, pp. 202-218. Reimpreso en su *Modern Science and its Philosophy,* Cambridge, Harvard University Press, pp. 228-259.

———— (1949), "Introduction: Historical background", en su *Modern Science and its Philosophy,* Cambridge, Harvard University Press, pp. 1-52.

Friedman, M. (1999), *Reconsidering Logical Positivism,* Nueva York, Cambridge University Press.

Gay, P. (1970), *The Enlightenment: An Interpretation,* 2 vols., Londres, Weidenfeld & Nicolson.

Grayling, A. C. (2007), *Towards the Light: The Story of the Struggles for Liberty & Rights that Made the Modern West,* Londres, Bloomsbury.

———— (2009), *Liberty in the Age of Terror: A Defence of Civil Society and Enlightenment Values,* Londres, Bloomsbury.

Haksar, P. N., *et al.* (1981), *A Statement on Scientific Temper,* Bombay, Nehru Center.

Hankins, T. L. (1985), *Science and the Enlightenment,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *Ciencia e Ilustración,* Madrid, Siglo XXI de España, 1988.]

Hiebert, E. N. (1976), "Introduction", en E. Mach, *Knowledge and Error,* Dordrecth, Reidel (original de 1905). [Hay edición en español: *Conocimiento y error,* Barcelona, Espasa-Calpe, 1948.]

Himmelfarb, G. (2004), *The Roads to Modernity. The British, French, and American Enlightenment,* Nueva York, Alfred A. Knopf.

Höfler, A. (1916), "Ernst Mach: Obituary", *Zeitschrift fur den Physikalischen und Chemischen Unterricht,* vol. 29, núm. 2.

Hume, D. (1739/1888), *A Treatise of Human Nature: Being and Attempt to Introduce the Experimental Method of Reasoning into Moral Subjects,* Oxford, Clarendon Press. [Hay edición en español: *Tratado de la naturaleza humana,* Madrid, Tecnos, 2005.]

———— (1754-1762/1828), *The History of England: From the Invasion of Julius Caesar to the Revolution in 1688,* 4 vols., Filadelfia, Bennett & Walton. [Hay edición en español, trad. por Eugenio de Ochoa, Barcelona, Imprenta de Francisco Oliva, 1844, p. 740.]

Hunt, L. (2007), *Inventing Human Rights: A History,* Nueva York, W. W. Norton. [Hay edición en español: *La invención de los derechos humanos,* Barcelona,

Tusquets, 2009.]

Israel, J. (2001), *Radical Enlightenment: Philosophy and the Making of Modernity 1650-1750,* Oxford, Oxford University Press. [Hay edición en español: *La Ilustración radical. La filosofía y la construcción de la modernidad, 1650-1750,* México, FCE, 2012.]

Jacob, M. C. (1988), "Reflections on Bruno Latour's version of the seventeenth century", en N. Koertge (coord.), *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths about Science,* Nueva York, Oxford University Press, pp. 240-254.

Jaffrelot, C. (2005), *Ambedkar and Untouchability: Fighting the Indian Caste System,* Nueva York, Columbia University Press.

Johnston, J. S. (2014), "John Dewey and science education", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 2409-2432.

Kant, I. (1784/2003), "What is Enlightenment?", en P. Hyland (coord.), *The Enlightenment: A Sourcebook and Reader,* Londres, Routledge, pp. 54-58.

———— (1803/1899), *Kant on Education,* Londres, Kegan Paul.

Koenigsberger, H. G. (1987), *Early Modern Europe 1500-1789,* Londres, Longman. [Hay edición en español: *Historia de Europa. El mundo moderno. 1500-1789,* Barcelona, Crítica, 1991.]

Lindsay, J. (1970), "Introduction", en *Autobiography of Joseph Priestley,* Bath, Adams & Dart, pp. 11-66.

Locke, J. (1689/1924), *An Essay Concerning Human Understanding,* abreviado y editado por A. S. Pringle-Pattison, Oxford, Clarendon Press. [Hay edición en español: *Ensayo sobre el entendimiento humano,* México, FCE, 1999.]

———— (1689/1983), *A Letter Concerning Toleration,* editado por J. Tully, Indianápolis, Hackett Publishing. [Hay edición en español: *Ensayo y carta sobre la tolerancia,* Madrid, Alianza, 1999.]

———— (1690/1960), *Two Treatises of Government,* introducción y notas de Peter Laslett, Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *Segundo tratado sobre el gobierno civil: Un ensayo acerca del verdadero origen, alcance y fin del gobierno civil,* Madrid, Alianza Editorial, 2000.]

———— (1693/1968), "Some thoughts concerning education & of the conduct of the understanding", en J. L. Axtell (coord.), *The Educational Writings of John Locke,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 114-325.

———— (1693/1996), *Some Thoughts Concerning Education & of the Conduct of the Understanding,* editado por R. W. Grant y N. Tarcov, Indianápolis, Hackett Publishing. [Hay edición en español: *Pensamientos sobre la educación,* Madrid,

Akal, 1986.]
Mach, E. (1883/1960), *The Science of Mechanics,* LaSalle, Open Court Publishing.
———— (1886/1986), "On instruction in the classics and the sciences", en *Popular scientific lectures,* LaSalle, Open Court Publishing.
Mackenzie, B. G. (1977), *Behaviourism and the Limits of Scientific Method,* Atlantic Highlands, Humanities Press.
Mahanti, S. (2013), "A perspective on scientific temper in India", *Journal of Scientific Temper,* vol. 1, pp. 46-62.
Matthews, M. R. (1990), "Ernst Mach and contemporary science education reforms", *International Journal of Science Education,* vol. 12, núm. 3, pp. 317-325.
Merton, R. K. (1938/1970), *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England,* Nueva York, Harper & Row. [Hay edición en español: *Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo* XVII, Madrid, Alianza Editorial, 1984.]
Mukherjee, A. P. (2009), "B. R. Ambedkar, John Dewey, and the meaning of democracy", *New Literary History,* vol. 40, núm. 2, pp. 345-370.
Munck, T. (1990), *Seventeenth Century Europe: State, Conflict and the Social Order in Europe 1598-1700,* Londres, Macmillan. [Hay edición en español: *La Europa del siglo* XVII. *1598-1700,* Madrid, Akal, 1994.]
Nanda, M. (2003), *Prophets Facing Backward. Postmodern Critiques of Science and Hindu Nationalism in India,* New Brunswick, Rutgers University Press.
Nandy, A. (1983), *The Intimate Enemy,* Nueva Delhi, Oxford University Press.
Nehru, J. L. (1946/1981), *The Discovery of India,* Nueva Delhi, Oxford University Press. [Hay edición en español: *El descubrimiento de la India,* Buenos Aires, Sudamericana, 1949.]
Neurath, O., R. Carnap y C. Morris (coords.) (1938), *International Enciclopedia of Unified Science,* vol. I, Chicago, University of Chicago Press.
Newton, I. (1713/1934), *Principia mathematica,* 2ª ed., Berkeley, University of California Press. [Hay edición en español: *Principios matemáticos de la filosofía natural,* Madrid, Alianza Editorial, 2011.]
———— (1730/1979), *Opticks,* 4a. ed., editada por I. B. Cohen y D. H. D. Roller, Nueva York, Dover. [Hay edición en español: *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz,* Madrid, Alfaguara, 1977.]
Pagden, A. (2013), *The Enlightenment and Why It still Matters,* Oxford, Oxford University Press.
Parrini, P., W. Salmon y M. Salmon (coords.) (2003), *Logical Empiricism: Historical and Contemporary Perspectives,* Pittsburgh, University of Pittsburgh

Press.
Parry, G. (2007), “Education and the reproduction of the Enlightenment”, en M. Fitzpatrick, P. Jones, C. Knellwolf e I. McCalman (coords.), *The Enlightenment World,* Londres, Routledge, pp. 217-233.
Passmore, J. A. (coord.) (1965), *Priestley's Writings on Philosophy, Science and Politics,* Londres, Collier Macmillan.
Peters, M. (1995), “Philosophy and Education ‘After’ Wittgenstein”, en P. Smeyers y J. D. Marshall (coords.), *Philosophy and Education: Accepting Wittgenstein's Challenge,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 189-328.
Porter, R. (2000), *The Enlightenment: Britain and the Creation of the Modern World,* Londres, Penguin.
Postman, N. (1999), *Building a Bridge to the 18th Century: How the Past Can Improve our Future,* Nueva York, Alfred A. Knopf.
Postman, N., y C. Weingartner (1969), *Teaching as a Subversive Activity,* Nueva York, Dell Publishing.
Potter, R., y M. Teich (coords.) (1992), *The Scientific Revolution in National Context,* Cambridge, Cambridge University Press.
Priestley, J. (1765/1965), *An Essay on a Course of Liberal Education for Civil and Active Life,* en J. A. Passmore (coord.), *Priestley's Writings on Philosophy, Science and Politics,* Londres, Collier Macmillan, pp. 285-304.
———— (1767-1775), *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments,* 2ª ed., Londres, J. Dodsley, J. Johnson y T. Cadell; 3a. ed., 1775, reimpresa en Nueva York por Johnson Reprint Corporation, 1966, con Introducción de Robert E. Schofield.
———— (1772), *The History and Present State of the Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours,* 2 vols., Londres.
———— (1775-1777), *Experiments and Observations on Different Kinds of Air,* 2ª ed., 3 vols., Londres, J. Johnson. El Alembic Club publicó algunas secciones de la obra con el título *The Discovery of Oxygen,* Edimburgo, 1961.
———— (1785), *The Importance and Extent of Free Inquiry in Matters of Religion,* al cual se añade *The Present State of Free Inquiry in this Country,* Birmingham y Londres, en Rutt, *Collected Works,* vol. 15, pp. 70-82.
———— (1788), *Lectures on History and General Policy to which is Prefixed, An Essay on the Course of Liberal Education for Civil and Active Life,* Dublín, P. Byrne.
———— (1790), *Experiments and Observations on Different Kinds of Air, and other Branches of Natural Philosophy, Connected with the Subject, Being the Former Six Volumes Abridged and Methodized,* 3 vols., Birmingham, J. Johnson.

———— (1791), “The proper objects of education”, en J. T. Rutt (coord.), *The Theological and Miscellaneous Works of Joseph Priestley,* vol. 15, pp. 420-440.

Pyenson, L. (1993), “The ideology of Western rationality: History of science and the European civilizing mision”, *Science & Education,* vol. 2, núm. 4, pp. 329-344.

Reisch, G. A. (2005), *How the Cold War Transformed Philosophy of Science. To the Icy Slopes of Logic,* Nueva York, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *Cómo la Guerra Fría transformó la filosofía de la ciencia. Hacia las heladas laderas de la lógica,* Buenos Aires, Universidad Nacional de Quilmes, 2009.]

Rousseau, J. J. (1762/1991), *Emile, or On Education,* Harmondsworth, Penguin. [Hay edición en español: *Emilio o De la educación,* Madrid, Alianza Editorial, 2005.]

Rutt, J. T. (1831-1832), *The Life and Correspondence of Joseph Priestley,* 2 vols., Londres.

Sarukkai, S. (2014), “Indian experiences with science: Considerations for history, philosophy and science education”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecth, Springer, pp. 1693-1720.

Schmitter, A. M., N. Tarcov y W. Donner (2003), “Enlightenment liberalism”, en R. Curren (coord.), *A Companion to the Philosophy of Education,* Malden, Blackwell Publishing, pp. 73-93.

Schofield, R. E. (1997), *The Enlightenment of Joseph Priestley: A Study of his Life and Work from 1733 to 1773,* University Park, Penn State Press.

———— (2004), *The Enlightened Joseph Ptriestley: A Study of his Life and Work from 1773 to 1804,* University Park, Penn State Press.

Scriven, M. (1956), “A study of radical behaviourism”, *Minnesota Studies in the Philosophy of Science,* vol. 1, pp. 88-130.

Shimony, A. (1997), “Presidential address: Some historical an philosophical reflections on science and Enlightenment”, en L. Darden (coord.), *Proceedings of the 1996 PSA Meeting,* S1-14.

Siegel, H. (1997), *Rationality Redeemed? Further Dialogues on an Educational Ideal,* Nueva York, Routledge.

Siemsen, H. (2014), “Ernst Mach: A genetic introduction to his educational theory and pedagogy”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecth, Springer, pp. 2329-2357.

Smith, L. D. (1986), *Behaviourism and Logical Positivism,* Stanford, Stanford University Press. [Hay edición en español: *Conductismo y positivismo lógico: Una reconsideración de la alianza,* Bilbao, Desclée De Brouwer, 1994.]

Tarcov, N. (1989), *Locke's Education for Lliberty,* Chicago, University of Chicago Press. [Hay edición en español: *Locke y la educación para la libertad,* Buenos Aires, Grupo Editor Latinoamericano, 1991.]

Thompson, E. P. (1963/1980), *The Making of the English Working Class,* Harmondsworth, Penguin. [Hay edición en español: *La formación de la clase obrera en Inglaterra,* Madrid, Capitán Swing, 2012.]

Tobin, K. (1998), "Sociocultural perspectives on the teaching and learning of science", en M. Larochelle, N. Bednarz y J. Garrision (coords.), *Constructivism and Education,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 195-212.

Uebel, T. E. (1998), "Enlightenment and the Vienna Circle's scientific world-conception", en A. O. Rorty (coord.), *Philosophers on Education: New Historical Perspectives,* Nueva York, Routledge, pp. 418-438.

———— (2012), "Vienna Circle", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (verano de 2012), editado por Edward N. Zalta, disponible en <http://plato.stanford.edu/archives/sum2012/entries/vienna-circle>.

VVAA (varios autores) (2011), *Scientific Temper Statement Revisited: The Palampur Declaration,* disponible en <http://st.niscair.res.in/scientific-temper-statement-revisited>.

Von Mises, R. (1951), *Positivism,* Cambridge, Harvard University Press.

III. AVANCES HISTÓRICOS Y ACTUALES EN LOS PLANES DE ESTUDIO DE CIENCIAS

Para que seamos capaces de apreciar la importancia de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de la ciencia, resulta útil tener en mente la historia y la diversidad de planes de estudio escolares y los principales debates que se han sostenido como parte de los esfuerzos por mejorar la enseñanza en las aulas. Este capítulo, y los dos que siguen, describirán a grandes líneas el desarrollo de la ciencia escolar con vistas a comprender las demandas actuales de las pedagogías y los planes de estudio contextuales o liberales. Que exista diversidad y cambio engendra preguntas sobre la justificación de distintas orientaciones curriculares y sobre la medida en la que son las consideraciones educativas, y no otras, las que provocan el cambio.[1]

La ciencia, por entonces llamada "filosofía natural", se incluyó en las pocas escuelas que existían a mediados del siglo XVIII. Esta novedad no fue bien recibida por todos. Se consideraba que la teología, los clásicos y las humanidades eran temas adecuados para la elite, y la alfabetización básica, la aritmética y la religión, además de algunas habilidades sencillas para el comercio y el trabajo doméstico, eran apropiadas para las masas. En el siglo XIX, Thomas Huxley, Henry Armstrong y Thomar Percy Nunn en Inglaterra, John Dewey en Estados Unidos, Ernst Mach y Johann Friedrich Herbert en Alemania y, antes, el matemático De Condorcet en Francia, estuvieron entre quienes abogaron por que la ciencia estuviera presente en la educación popular.[2] Tan pronto la ciencia se incluyó en los planes de estudio, comenzó el debate sobre sus contenidos, objetivos, métodos de enseñanza y público. El debate sobre el público giró alrededor del problema que hoy llamamos "ciencia para todos": si la ciencia que se enseña debe ser la misma para todos los alumnos o si tienen que existir distintos programas en función de que los alumnos decidan cursar estudios universitarios, den por concluida su educación al finalizar la escuela o sencillamente tengan un nulo interés por estudiar ciencia.

En Gran Bretaña se generalizó un enfoque práctico. La ciencia estaba al servicio de la Revolución industrial, y esto se reflejó en los proyectos educativos (Uglow, 2002). Un texto notable fue la *Natural Philosophy* [Filosofía natural, 1750] de James Ferguson, que tuvo muchas ediciones, fue revisada en 1806 por sir David Brewster y se publicó en Estados Unidos en 1806. La introducción de Brewster dice que "el objetivo principal de los empeños del señor Ferguson fue ofrecer una perspectiva familiar de las ciencias físicas y hacerlas accesibles a quienes no están acostumbrados a la investigación matemática" (Woodhull, 1910, p. 18). Brewster prosigue diciendo que "ningún libro sobre este tema se ha leído tanto, ni ha circulado tan ampliamente, entre todos los estratos de la comunidad". Del texto, 72 páginas se dedican a las máquinas y 40 a las bombas. Este énfasis en lo aplicado, lo técnico y lo cotidiano se repitió en otros textos de uso generalizado, como las 22 ediciones de *The School Compendium of Experimental Philosophy* [El compendio escolar de filosofía experimental, 1837] de R. G. Parker, las 73 ediciones del *System of Natural Philosophy* [Sistema de filosofía natural, 1846] de J. L. Comstock y la *Natural Philosophy for Schools* [Filosofía natural para las escuelas, 1847] de J. W. Draper.

Draper prendió la mecha del que sería un prolongado dilema en la enseñanza de la ciencia cuando dijo: "Actualmente existen dos métodos para enseñar la filosofía natural: *1)* como una ciencia experimental; *2)* como una rama de las matemáticas. Creo que el rumbo correcto es enseñar la ciencia física primero de forma experimental" (Woodhull, 1910, p. 21).

Las universidades británicas y las estadunidenses estaban en desacuerdo sobre este punto. La filosofía natural desapareció de las escuelas estadunidenses alrededor de 1872 y fue remplazada con una física de enseñanza media que fue llenándose con álgebra y fórmulas matemáticas, y en la cual los diagramas de máquinas comunes fueron remplazados por abstractos diagramas a línea. De la mano de estos textos vino el viejo problema de los programas de estudio sobresaturados. El Departamento de Educación del Estado de Nueva York publicó su *Topical Syllabus in Physics* [Programa temático de física] en 1905; contenía 260 temas, lo que, para un curso de 120 horas, significaba un tema nuevo cada media hora de clase (Mann, 1912, p. 66). Fue el presagio de la largamente deplorada preferencia de Estados Unidos por "planes de estudio de ciencias de un kilómetro de largo y un centímetro de profundidad".

No todos pensaban que la nueva enseñanza de la ciencia era una mejora, y a finales del siglo XIX muchos se unieron bajo el estandarte de "El nuevo movimiento en la enseñanza de la física" para abogar por un regreso al enfoque aplicado y experimental de los viejos cursos y textos de filosofía natural.[3] Una parte de estos defensores buscaba que en los planes de estudio se conservaran los principios científicos de la materia y proponían, con razón, que enseñar a un ritmo de 30 minutos por tema, en la que era esencialmente una lengua extranjera, no resultaba propicio para que los niños aprendieran los principios de la ciencia. Un ejemplo del tipo de ciencia al que se oponía el nuevo movimiento era la formulación de preguntas como "una fuerza de 5 000 dinas actúa durante 10 segundos sobre una masa de 250 gramos; ¿qué momento se le imprime al cuerpo?", sin que los alumnos supieran mediante la experiencia qué significa una fuerza de 5 000 dinas en la vida diaria. ¿Una fuerza así puede derribar a un adulto, por ejemplo? ¿Es suficiente para hacer rodar una naranja sobre una mesa? (Mann, 1912, p. 89).

Hasta ahora han existido en Estados Unidos tres tradiciones rivales de enseñanza de la ciencia: la teórica, que insiste en la estructura conceptual de las disciplinas; la aplicada, que hace énfasis en la ciencia y el funcionamiento de las cosas cotidianas, y la liberal o contextual, que se concentra en el desarrollo histórico y las implicaciones culturales de la ciencia. Por supuesto, estas tradiciones no han sido excluyentes; como muchas fronteras, eran porosas.

Una tendencia importante en el desarrollo de la enseñanza de la ciencia hasta la década de 1950 fue el creciente reconocimiento de los aspectos prácticos, vocacionales, sociales y humanitarios de la ciencia y la incorporación de estos aspectos en los planes de estudio. En muchos sentidos se trató de un regreso al pasado; una oscilación del péndulo educativo. La enseñanza de la biología, por ejemplo, se volvió menos teórica durante este periodo (Hurd, 1961; Rosenthal, 1985). En 1909, un maestro se quejó de que los textos escolares eran tan enciclopédicos y teóricos que resultaban más apropiados para un examen de doctorado. Tras observar una clase, el maestro se preguntó qué significados les transmitían a los alumnos palabras como “oogonio”, “anteridio” y “oospora” (Rosenthal, 1985). Durante la primera mitad del siglo XX, y en respuesta a múltiples presiones —entre ellas las de la Progressive Education Society, exigencias comerciales e industriales, problemas ambientales, cambios demográficos y asuntos de salud—, la biología escolar fue divergiendo de la biología universitaria. En 1926, Finley escribió un texto que destacaba los “aspectos prácticos, ecológicos, económicos y de bienestar humano de la biología”. Observó que por lo general “el objetivo de la enseñanza de la biología […] cambió de la ‘biología por la biología misma’ a la ‘biología en relación con el bienestar humano’ ” (Rosenthal, 1985, p. 105). Una revisión de estos cambios lleva el atinado título de “Emergence of the biology curriculum: A science of life or a science of living” [La aparición del plan de estudios de biología: Una ciencia de la vida o una ciencia para la vida, Rosenthal y Bybee, 1987].[4]

La segunda Guerra Mundial le dio un impulso adicional a la biología práctica: la prevención de enfermedades, la higiene y la agricultura eran parte de las aplicaciones prácticas que orientaban el diseño de los cursos. El Columbia Teachers College desarrolló un plan de estudios que hacía énfasis en “el contenido y los métodos de la ciencia para tratar con temas personales y sociales que se han planteado en buena medida como resultado de avances en la ciencia”. El objetivo era ofrecer “una comprensión clara de la sociedad [y] de la función social de la ciencia” (Layton y Powers, 1949). Esta inquietud por volver la ciencia relevante a nivel personal resulta evidente en un reporte de la Consumer Education Society de la National Association of Secondary Principals. El reporte, titulado *The Place of Science in the Education of the Consumer* [El papel de la

ciencia en la educación del consumidor], fue publicado en 1945 por la National Science Teachers Association. Exhortaba a que la enseñanza de la ciencia se concentrara en los conocimientos que les permiten a los consumidores comprar en forma inteligente y en procedimientos útiles para la solución de problemas de los consumidores (Hurd, 1961, p. 85).

La biología no fue la única que adoptó inquietudes más prácticas: hasta mediados de la década de 1950, los textos de física también se ocupaban de problemas aplicados y ofrecían ejemplos cotidianos de principios físicos. Como ha señalado Douglas Roberts (1982), era común que los capítulos sobre electricidad discutieran el funcionamiento del teléfono, la plancha eléctrica, los circuitos y los fusibles caseros y los electrodomésticos; los capítulos sobre líquidos hablaban sobre los sistemas hidráulicos de las ciudades, los frenos hidráulicos y otros temas parecidos.

Como era de preverse, existían ciertas tensiones en esta tradición de la ciencia aplicada. Algunos autores hacían énfasis en las aplicaciones a nivel personal: la higiene, las decisiones de consumo, cómo plantar jardines, los pasatiempos, etc.; otros respondían a las exigencias de las empresas para desarrollar habilidades laborales, e insistían en las aplicaciones sociales de la ciencia (Callahan, 1962). Unos más se concentraban en entender la interacción entre la sociedad y la ciencia. Los programas actuales de ciencia, tecnología y sociedad pertenecen a la misma tradición que estos cursos aplicados de ciencia de entreguerras.

La tradición aplicada recibió críticas de dos flancos: en el de la derecha, por decirlo así, estaban los defensores de enseñar la estructura teórica y disciplinaria de la ciencia, y en la izquierda los que abogaban por sus aspectos humanistas y culturales. La Union of American Biological Societies criticó la tendencia a enseñar la biología no como una ciencia sino como "una forma de emprender pasatiempos y una serie de tecnologías prácticas" (Rosenthal, 1985, p. 109). La Union defendía los cursos especializados, disciplinarios. El reporte de 1947 de la AAAS, titulado "The present effectiveness of our schools in the training of scientist" [La efectividad actual de nuestras escuelas para entrenar científicos], hizo eco de este llamado. Afirmó:

> El reporte se basa en la premisa de que nuestra gente debería tomar tantas medidas como fueran necesarias para asegurar: *1)* que haya suficientes científicos competentes para hacer cualquier trabajo que se requiera en el futuro, y *2)* un público votante que comprenda y apoye el papel de los científico en la defensa y en el diseño para vivir mejor [en Klopfer y Champagne, 1990, p. 137].

En contraste, el Harvard Committee (1945) abogó por un programa de ciencia en el cual "los hechos de la ciencia deben aprenderse en otro contexto, cultural, histórico y filosófico". El comité elaboró un manifiesto para la educación liberal de la ciencia que afirmaba:

> La enseñanza de la ciencia dentro de la educación general debe caracterizarse principalmente por una integración amplia de elementos: la comparación de los modos de pensamiento científico con otros tipos de pensamiento, la comparación y el contraste de las ciencias individuales entre sí, las relaciones de la ciencia con su propio pasado y con la historia humana general y de la ciencia con los problemas de la sociedad humana. Son áreas en las cuales la ciencia puede hacer una contribución duradera a la educación general de todos los alumnos […] Por debajo del nivel universitario prácticamente toda la enseñanza de la ciencia debe consagrarse a la educación general [Conant, 1945, pp. 155-156].

En 1944, la National Educational Association publicó un reporte, *Education for all American Youth* [Educación para todos los jóvenes estadunidenses], que propuso un enfoque liberal para la enseñanza de las ciencias en los programas preuniversitarios. Además de enseñarles temas específicos, para el décimo grado debería dárseles a conocer a los alumnos el papel de la ciencia en el progreso humano, la perspectiva científica sobre el mundo y sobre el hombre, la historia de la ciencia, y un acercamiento creativo a los grandes científicos y a sus principales experimentos (Hurd, 1961, p. 83). Durante la conferencia nacional de asesores presidenciales de ciencia, que se celebró en la Universidad de Yale en 1958, Clarence Faust hizo hincapié en este enfoque contextual:

> Lo que más necesita la vida de los estadunidenses es un renovado respeto por la inteligencia, por el logro intelectual, por la vida mental, por los libros y el aprendizaje, por la ciencia básica y por la sabiduría filosófica […] la educación no puede cumplir su promesa si se piensa en ella únicamente como un medio para el avance individual, el logro social y el poder nacional […] Necesitamos sabiduría, no sólo poder […] un compromiso con la función básica de la educación [Elbers y Duncan, 1959, p. 178].

Así, durante la crisis del *Sputnik,* a mediados de la década de 1950, pueden identificarse al menos tres perspectivas rivales sobre la naturaleza, los propósitos y los énfasis de la ciencia escolar:

1) un énfasis práctico, técnico y aplicado;
2) un énfasis liberal, general y humanista, y
3) un énfasis especializado, teórico y disciplinario.

Estas perspectivas se parecen a lo que Elliot Eisner (1979) llama “orientaciones curriculares”. Roberts (1982) identificó siete “énfasis curriculares” en su revisión de diversos planes de estudio de ciencias. Los tres antes citados corresponden, de manera aproximada, a su “enfrentamiento diario”, “uno mismo como explicador” y “explicaciones correctas”. Ni las categorías de Roberts ni las divisiones tripartitas anteriores pretenden ser mutuamente excluyentes. Los planes de estudio que hacen énfasis en uno suelen incluir algo de los otros. Lo que está en disputa entre estas perspectivas es la orientación general del programa de ciencia y sus objetivos.

El problema educativo serio es identificar las bases para estas decisiones curriculares y luego justificar cada decisión. ¿Existen bases educativas y filosóficas para las

decisiones, o el plan de estudios de una sociedad no hace más que seguir las huellas del último grupo de interés especial, político o económico, que pasó por ahí? Resulta evidente que cualquier esfuerzo por justificar esta clase de decisiones desemboca en la filosofía de la educación; las justificaciones tienen que apelar a los objetivos de la educación, a lo que se requiere para el crecimiento y el florecimiento individual y a las ideas políticas sobre las relaciones mutuas entre los individuos y su sociedad.[5]

A principios de la década de 1950, académicos, científicos y asociaciones profesionales estadunidenses, con los físicos a la cabeza, lideraron una revuelta para que se reformara la educación científica en su país. Estos grupos estaban preocupados por el declive de la ciencia y las matemáticas en las escuelas. En los 40 años que transcurrieron entre 1910 y 1950, la cantidad de temas no académicos en las escuelas estadunidenses (cocina, mecanografía, clases de manejo, etc.) aumentaron de 8 a 215, los cursos independientes de física y de química se amalgamaron en las clases de ciencia general y el álgebra se convirtió en parte de la clase de matemáticas generales.[6]

El 4 de octubre de 1957, se lanzó a órbita el *Sputnik* soviético y las ondas de choque de este acontecimiento sacudieron por completo el paisaje político y educativo estadunidense. Dianne Ravitch comentó:

> El lanzamiento soviético […] terminó de golpe con el furioso debate, que se había prolongado por décadas, acerca de la calidad de la educación estadunidense. Quienes argumentaban desde fines de la década de 1940 que las escuelas estadunidenses no eran lo suficientemente rigurosas, y que la educación para la vida había abaratado los valores intelectuales, se sintieron reivindicados y, como escribió después un historiador, "una nación conmocionada y humillada se embarcó en una amarga orgía de introspección pedagógica" [en DeBoer, 1991, p. 146].

El *Sputnik* colocó las afirmaciones de los reformadores de la enseñanza de la ciencia bajo los reflectores nacionales. El lanzamiento desencadenó un frenesí de leyes, la principal de las cuales, la National Defense Education Act de 1957, determinó que se entregarían 94 millones de dólares para la enseñanza de la ciencia entre 1958 y 1961, y 600 millones más entre 1961 y 1975. A lo largo y ancho del país se celebraron conferencias y encuentros, entre las cuales una representativa fue la ya mencionada conferencia de Yale, patrocinada por el President's Committee on Scientists and Engineers (Elbers y Duncan, 1959).

La National Science Foundation (NSF) fue crucial para que la ciencia de la escuela se transformara en una ciencia proto-universitaria, un proceso que a veces es llamado la profesionalización de la ciencia escolar. La primera subvención de la NSF para la ciencia escolar, en 1954, fue de 1 725 dólares; la subvención de 1956, otorgada al Physical Science Study Committee en 1956, fue de 300 000 dólares. La National Defense Education Act modificó estas exiguas subvenciones y transformó, con ello, la enseñanza de la ciencia en Estados Unidos. En 1957 la NSF declaró que sus proyectos curriculares:

> Buscan responder a las preocupaciones, con frecuencia expresadas por científicos y maestros, sobre la incapacidad de los programas instruccionales en las escuelas primarias y secundarias para despertar la comprensión y el interés motivador por las disciplinas científicas. El consenso es que buena parte de la ciencia que se enseña actualmente en las escuelas no refleja el estado actual del conocimiento ni representa, necesariamente, la mejor selección posible de materiales de carácter instructivo [Crane, 1976, pp. 56-57].

En 1956, Jerrold Zacharias,[7] un físico del MIT, usó una modesta beca de la National Science Foundation para fundar el PSSC. Es un ejemplo de cómo a partir de pequeñas subvenciones pueden emerger grandes proyectos, en particular cuando son alimentados por un pánico nacional tipo *Sputnik.* Este comité publicó el texto *Physics,* que eventualmente usarían millones de alumnos en Estados Unidos y el resto del mundo; con sus traducciones a múltiples idiomas se convirtió en uno de los libros de texto más usados de la historia.[8] Fue el MacDonald's o la Coca-Cola de la educación. Las traducciones al español y al portugués, además de becas para capacitar en Estados Unidos a maestros latinoamericanos, determinaron durante décadas la enseñanza de la física en América Latina. La intención de los físicos del PSSC era concentrarse en la estructura conceptual de la física y enseñar la materia como una disciplina; la física aplicada estaba casi totalmente ausente del texto. Como afirma Zacharias:

> Para diseñar un programa de estudios siempre habría que determinar el objetivo final e ir hacia atrás […] Nos gustaría que [los alumnos] entendieran el concepto entero de cuantización, el concepto entero de ondas y partículas […] yendo hacia atrás notamos que era evidente que necesitaban entender la naturaleza eléctrica de la materia […] y aún antes, por supuesto, la mecánica newtoniana. También es necesario saber por qué uno cree en la mecánica newtoniana. Uno cree en la mecánica newtoniana gracias a la mecánica celeste, no gracias a unos cubos de madera sobre la mesa [Zacharias, 1964, p. 67].

Con esta teoría curricular, o brújula educativa, es fácil entender por qué a veces los maestros y sus alumnos jamás volvieron a usar los bloques de madera o, como mencionaremos después, a aprender "dónde hay que poner un soufflé en el horno"; el tiempo asignado a la materia no resultaba suficiente. Como mencionaremos en el capítulo IV, la presión atmosférica, por ejemplo, no se menciona en el índice del PSSC; se discute en el capítulo "La naturaleza de los gases", en el que no se mencionan ni una vez los barómetros o las máquinas de vapor (el barómetro se menciona por primera vez en las notas al capítulo). Como mostraremos en el capítulo VI, Zacharias recomienda empezar a enseñar sobre el péndulo con un péndulo acoplado y espera que los alumnos quieran entender más adelante el péndulo simple, pero incluso esta comprensión posterior no incluirá las muchas aplicaciones del péndulo.[9]

La National Science Foundation sentó a los científicos en la silla de montar de la reforma curricular; los maestros constituyeron, a lo más, peones, y a los investigadores educativos raramente los dejaron salir del establo. El proyecto del PSSC fue la encarnación del desarrollo curricular vertical; su máxima era: "La física a prueba de maestros". Zacharias afirmó que los físicos del PSSC deben "tener materiales en una forma refractaria, que no sea fácil de modificar" (Zacharias, 1964, p. 69). En 1962, en una aclaración sobre sus políticas, la National Science Foundation dijo que "Los proyectos están dirigidos por científicos de nivel universitario, y se otorgan subvenciones a instituciones de educación superior y a sociedades científicas profesionales. Se hace

más énfasis en el tema que en la pedagogía” (Klopfer y Champagne, 1990, p. 139).

El pilotaje de los proyectos no siempre tuvo la importancia que le adjudicaron las políticas. Uno de los maestros que participaron dijo:

> Mi propia experiencia con ese proceso sugiere que los resultados de los pilotajes en las aulas tuvieron poco efecto sobre las versiones siguientes. Los científicos solían dudar de las críticas que hacían los maestros de escuela a su “ciencia”, a menos que les proporcionaran datos muy convincentes que las respaldaran [Welch, 1979, p. 288].

La National Science Foundation apoyó la explosión de “alfabetos curriculares” a finales de la década de 1950 y principios de la de 1960. El primer plan de estudios que se usó en forma generalizada fue el PSSC del MIT. Lo siguió el Chemical Bond Approach [Enfoque de enlaces químicos, CBA], el *Biological Sciences Curriculum Study* [Plan de estudios de ciencias biológicas, BSCS], el Chemical Education Materials [Materiales para la educación química, CHEMS], el Earth Science Curriculum Project [Proyecto curricular de ciencias de la Tierra, ESCP], el Introductory Physical Science [Introducción a las ciencias físicas, IPS], el Project Physics [Proyecto física] y muchos otros. Para 1975 la National Science Foundation brindaba apoyo a 28 proyectos de reforma curricular de ciencias, varios de los cuales iban dirigidos a la escuela primaria: el Elementary Science Study [Estudio de ciencia en primaria, ESS] y el Science Curriculum Improvement Study and Science – A Process Approach [Estudio y ciencia del mejoramiento del plan de estudio escolar. Un enfoque procesual, SAPA]. Durante el periodo de bonanza, millones de alumnos estudiaron con estos programas apoyados por la National Science Foundation: PSSC (un millón en 1956-1960), CHEMS (un millón en 1959-1963), BSCS (10 millones en 1959-1990), IPS (un millón en 1963-1972), ESS (un millón en 1961-1971) y SAPA (un millón en 1963-1974). Estos programas fueron las grandes ligas curriculares. Se calcula que entre 1976 y 1977, 19 millones de alumnos usaban materiales de los nuevos programas; esta cifra representaba en ese momento 43% de la población escolar.[10]

La mayor parte de los proyectos financiados por la National Science Foundation descuidaban las aplicaciones prácticas y tecnológicas de la ciencia. Una reseña decía:

> En los libros de texto disponibles actualmente hay poco o nada de CTS [ciencia, tecnología y sociedad]. Nuestro grupo revisó algunos libros de texto que se usan comúnmente […] y no encontró prácticamente ninguna referencia a la tecnología en general, o a nuestras ocho áreas particulares de interés. De hecho, encontramos menos referencias a la tecnología que en los libros de texto que se publicaron hace 20 años. Los libros se han vuelto más teóricos, más abstractos, con menos aplicaciones prácticas. Parecen haber evolucionado en un contexto en el cual la enseñanza de la ciencia se considera el dominio de un grupo de alumnos de “elite” [Piel, 1981, p. 106].

El éxito del *Sputnik* ruso, además de las ruidosas exigencias de los profesionales de la ciencia, creó una enorme presión legislativa y comercial para usar la ciencia escolar como

un medio para preparar a los alumnos para los estudios terciarios de ciencia. En los 30 años que transcurrieron entre 1957 y 1987, los énfasis curriculares prácticos y liberales dieron paso, progresivamente, al modelo de diseño curricular académico o profesional. Y, como era de esperarse, adoptaron lo que sus autores consideraban el consenso ortodoxo sobre el método científico. Por ejemplo, las reformas curriculares de la década de 1960 estuvieron dominadas por una perspectiva inductiva-empirista de la ciencia. Esto puede verse en documentos representativos, como *Education and the Spirit of Science* [La educación y el espíritu de la ciencia], publicado en 1966 por la Education Policies Commission. Allí afirmaba que en la ciencia "las generalizaciones se inducen a partir de fragmentos discretos de información que se recolectan mediante una observación tan precisa como lo permitan las circunstancias", y que la ciencia busca "verificar" sus afirmaciones (Education Policies Commission, 1966, p. 18). Un poquito de historia y filosofía de la ciencia podría haber enmendado este error evidente: la ciencia no procede por inducción, ni busca verificar sus afirmaciones; apenas busca confirmarlas.

Dos excepciones importantes a los programas de estudio profesionales, generales y ahistóricos, apoyados por la National Science Foundation, fueron el curso Harvard Project Physics y la versión amarilla del curso de biología de secundaria del BSCS. Otro ejemplo a pequeña escala de un programa de ciencia histórico-filosófico fue el de Klopfer y Cooley, "Use of case histories in the development of student understanding of science and scientists" [Empleo de historias de caso en el desarrollo de la comprensión de los estudiantes sobre la ciencia y los científicos]. Estas historias de caso tenían como propósito explícito replicar los Harvard Case Studies in Experimental Science, ya bien establecidos y que se usaban con éxito a nivel universitario. Una de las revisiones del uso del enfoque de estudios de caso afirmó que "el método definitivamente es efectivo para aumentar la comprensión de los alumnos sobre la ciencia y de los científicos cuando se usa en clases de biología, química y física de secundaria y preparatoria" (Klopfer y Cooley, 1963, p. 46).[11]

La evaluación de las reformas de la National Science Foundation

Para mediados de la década de 1970, tras 20 años de una intensa participación y 1 500 millones de dólares en apoyos financieros, la National Science Foundation se retiró del desarrollo de planes de estudio. En 1975, el financiamiento federal de la NSF para el desarrollo curricular estaba por debajo del nivel que había tenido en 1959. Eran otros tiempos: la amenaza soviética había retrocedido; Estados Unidos había puesto a un hombre en la Luna; la matrícula escolar se reducía, y las autoridades estatales y locales reaccionaban violentamente contra la introducción de facto de un programa de estudios nacional. Esta interferencia federal era (y aún es) un grave problemas para los más de 16

000 comités escolares locales de Estados Unidos, ferozmente independientes.

Se llevaron a cabo diversos estudios para evaluar qué tan efectiva era esta intervención federal de proporciones descomunales. Entre los más importantes estuvo el de Helgeson, Blosser y Howe, que analizó todas las investigaciones que aparecieron entre 1955 y 1975 (Helgeson *et al.,* 1977), y el Project Synthesis, dirigido por Norris Harms, que examinó cientos de estudios (Harms y Yager, 1981). Se encontró que las reformas curriculares sólo cumplieron en forma parcial tanto sus propios objetivos como los resultados que el gobierno y la sociedad esperaban de ellos. En 1979, el director original del proyecto del PSSC se lamentó de que el movimiento de la reforma curricular estuviera sufriendo una "sensación mortífera de frustración y fracaso". Para este partidario del proyecto, era una época de "desesperación y confusión" (Jackson, 1983, p. 152).

Cincuenta años más tarde, ahora que la reforma de la ciencia escolar vuelve a aparecer en la agenda política y educativa, es buen momento para saber en qué medida estos fracasos y confusiones se debieron a los materiales curriculares, a las deficiencias docentes, a las fallas logísticas y de implementación, a factores culturales antiintelectuales o anticientíficos en general, y en qué medida a factores marginales adoptados por este esquema, como una teoría educativa errada o nociones inadecuadas del método científico. Sin embargo, es posible que no existan respuestas absolutas a esta pregunta; tal vez las razones del fracaso están localizadas y cambian de programa en programa, de distrito escolar en distrito escolar, o incluso de escuela en escuela.

Arnold Arons, un respetado profesor de física, investigador, autor de libros de texto y diseñador de planes educativos, ha llamado la atención hacia el hecho de que "el material curricular, por más recursos que tenga y por más imaginativo que sea, no puede 'enseñarse a sí mismo' " (Arons, 1983, p. 117). Arons pensaba que los planes de estudio patrocinados por la National Science Foundation "desarrollaron una colección importante de materiales interesantes, imaginativos y sólidos en términos educativos", pero atribuye su fracaso a dos causas: la primera, un apoyo logístico inadecuado para los maestros de escuela, y la segunda, y más importante, una capacitación inadecuada de los maestros.

El primer factor explica cosas tan comunes como la ausencia de ayudantes de laboratorio en las escuelas y la falta de dinero para comprar equipos o películas, poco tiempo libre para montar experimentos y mantener exhibidores, y pocas licencias para capacitación. El segundo factor explica cosas como la falta de conocimientos de la materia, la incapacidad para entender los requisitos psicológicos del aprendizaje de las ciencias —en particular la necesidad de experimentar y familiarizarse con la realidad que antecede a la teoría y los conceptos—, cursos deficientes de capacitación durante el año escolar, durante los cuales a los maestros les daban "los mismos cursos universitarios vertiginosos, irrelevantes e ininteligibles que ya habían demostrado carecer de efectos intelectuales" (Arons, 1983, p. 120) y la imposibilidad de los maestros de ciencia para

apreciar y transmitir la enorme importancia intelectual y cultural de su materia. La ciencia se enseñaba como una retórica de conclusiones, para usar el término de Schwab, y casi nunca resultaba evidente la naturaleza fluida de la investigación y las conclusiones científicas.

Otros estudios respaldan la reticencia de Aron de echarle la culpa al plan de la National Science Foundation. Wayne Welch concluye que "cuando se compara con la efectividad de los maestros, la capacidad de los alumnos, el tiempo que se dedica a cada tarea y los muchos otros factores que influyen sobre el aprendizaje, el plan de estudios no parece ser un componente importante". Welch cita estudios que demuestran que sólo 5% de la varianza en el logro estudiantil tiene que ver con enfoques curriculares o no curriculares. Reporta también que su equipo de Project Physics "eventualmente llegó a la conclusión de que 5% era un retorno aceptable para nuestra inversión, puesto que rara vez pudimos encontrar un impacto curricular de consideración sobre los alumnos" (Welch, 1979, p. 301).

Una forma de ver estos resultados es que, si bien el plan de estudios es importante, no lo es por sí mismo: cambiar sólo el plan, sin modificar la educación de los maestros, la evaluación de las tareas, los recursos y el apoyo, no va a tener ningún efecto significativo sobre la participación, el interés y el aprendizaje de la ciencia o de cualquier otra materia. No sirve de mucho establecer comités curriculares poderosos que diseñen planes y se los manden a las escuelas por correo. Un plan de estudios sin textos, evaluaciones, compromisos docentes y apoyo sistemático adecuados es como un automóvil sin gasolina: se ve lindo, pero no va a ningún lado. Muchos han afirmado que resultados como los de Welch y análisis como los de Arons apuntan a la importancia fundamental de los maestros —de su conocimiento, entusiasmo, actitud, filosofía educativa y opiniones sobre su materia y sobre la ciencia en general— para lograr una enseñanza exitosa.

Hacia principios de la década de 1980, a todos les quedaba claro que la enseñanza de la ciencia en Estados Unidos estaba sufriendo una crisis de segunda generación, que se calificó con términos tales como "crisis del alfabetismo científico" o "la fuga de la ciencia" (Bishop, 1989). A pesar de todo el dinero y el esfuerzo que se había gastado desde el lanzamiento del *Sputnik,* el grueso de los egresados de la educación media superior y de los ciudadanos en general poseía una comprensión científica mínima. Unos pocos sabían mucho; la gran mayoría sabía muy poco. Esta situación se había documentado en innumerables investigaciones y reportes gubernamentales, pero lo que la colocó en el centro de la atención popular en Estados Unidos y decidió al gobierno a entrar en acción fue la publicación, en 1983, de *A Nation at Risk* [Una nación en peligro, NCEE, 1983]. Las conclusiones del reporte son muy crudas: "las bases educativas de nuestra sociedad están siendo erosionadas por una creciente marea de mediocridad que amenaza nuestro futuro mismo, como nación y como pueblo".[12] El texto expresaba una preocupación particular por el lamentable estado del conocimiento científico y matemático entre los egresados de educación media superior.

En los cinco años que siguieron a la publicación de *A Nation at Risk,* se publicaron más de 300 reportes que documentaron el estado deplorable de la educación estadunidense. En 1983, se presentaron ante el Congreso 20 propuestas de reforma diseñadas para ofrecer soluciones a la crisis nacional en la enseñanza de la ciencia. Estas propuestas, y los reportes, instaban a adoptar "el alfabetismo científico y tecnológico para todos" (Mansell, 1976) como el objetivo de la enseñanza de la ciencia en la escuela.[13] Así, se adoptó la *ciencia para todos* como el objetivo de la enseñanza de la ciencia, no sólo en Estados Unidos (Rutherford y Ahlgren, 1990), sino también en Gran Bretaña, Canadá, Australia, Nueva Zelanda y muchos países más.

Por supuesto, no debe pensarse que la crisis dependía por completo del plan de estudios, o de la enseñanza, o que las escuelas tienen que ser capaces de contrarrestar grandes fuerzas culturales, sociales o económicas. Las escuelas no pueden controlar el hecho de que Estados Unidos tenga 500 abogados por cada ingeniero, mientras que Japón tiene 500 ingenieros por cada abogado; tampoco pueden influir sobre la descomunal desigualdad en los salarios que reciben los abogados, los gestores de fondos y los contadores, en contraste con los maestros de ciencia o los ingenieros. Asimismo, las escuelas tienen pocos efectos sobre una cultura de masas decididamente antiintelectaual que funciona al nivel más superficial de análisis. En *High School* [Educación media superior], su importante reporte de 1983, Boyer llamó la atención hacia este hecho:

> Tras visitar escuelas de costa a costa nos queda la marcada sensación de que las escuelas de educación media superior carecen de una misión clara y vital. Son incapaces de encontrar propósitos comunes o de establecer

prioridades educativas que sean compartidas por muchos. Parecen incapaces de organizarlo. La institución está a la deriva [Boyer, 1983, p. 63].

Una comprensión más rica de qué es la ciencia, cuáles son sus métodos, sus logros y sus interacciones culturales, en otras palabras la historia y filosofía de la ciencia, puede contribuir un poco a esta “misión clara y vital” a la que se refería Boyer, del mismo modo que articular en cierta medida una filosofía de la educación puede servir como guía para tomar decisiones en las aulas, los programas y la organización general. Diversas propuestas de reforma educativa proponen recurrir a la historia y filosofía de la ciencia y a la filosofía de la educación, como el *Project 2061* de la AAAS de finales de 1980, los *National Science Education Standards* y ahora los *Next Generation Science Standards* [Estándares científicos de nueva generación].[14] Sólo pueden mejorarse los resultados en cada una de estas etapas si se compromete a los historiadores y a los filósofos con el trabajo de los educadores.

Project 2061

En 1985, la AAAS puso en marcha un extenso estudio nacional llamado *Project 2061*[15] para estimular y promover una revisión de la enseñanza de la ciencia en las escuelas (en el informe se incluían matemáticas, tecnología y ciencias sociales, así como ciencias naturales). El proyecto, que reconocía que en Estados Unidos las decisiones educativas son tomadas por miles de entidades diferentes, que incluyen 16 000 distritos escolares, y que las cortes federales y estatales ordenan continuamente programas importantes —y luego dan marcha atrás—, se describió a sí mismo en estos términos: “*Project 2061* constituye, por supuesto, apenas uno de los muchos esfuerzos por trazar nuevos caminos en la enseñanza de las ciencias, las matemáticas y la tecnología” (AAAS, 1989, p. 155). Resulta notable que el proyecto recurriera en forma explícita a la historia y a la filosofía.

El primer reporte, *Science for All Americans* [Ciencia para todos los estadunidenses], se publicó en 1989 (AAAS, 1989; Rutherford y Ahlgren, 1990) y aboga por que todos los alumnos de educación media superior de Estados Unidos logren estar científicamente alfabetizados. Las propuestas se basan en la convicción de que:

> Las personas científicamente alfabetizadas están conscientes de que la ciencia, las matemáticas y la tecnología son actividades humanas interdependientes, con fortalezas y limitaciones; comprenden conceptos y principios científicos clave, están familiarizadas con el mundo natural y reconocen tanto su diversidad como su unidad, y emplean conocimientos científicos particulares y formas científicas de pensar con propósitos tanto individuales como sociales [AAAS, 1989, p. 4].

Como se explica en el capítulo II, la última oración —“y emplean conocimientos

científicos particulares y formas científicas de pensar con propósitos tanto individuales como sociales”— vincula *Project 2061* con la tradición ilustrada de la enseñanza de la ciencia.

El reporte contiene un capítulo sobre filosofía de la ciencia y otro sobre historia de la ciencia. En total hay 12 capítulos que se ocupan de temas como las matemáticas, la tecnología, el mundo físico, el medio ambiente vivo, el organismo humano, la sociedad humana y el mundo diseñado. Los capítulos de historia y filosofía son buenas noticias para quienes defienden la inclusión de la historia y filosofía de la ciencia en los planes de estudio de ciencias.

Compromisos filosóficos

Todos los planes de estudio de ciencia contienen ideas acerca de la naturaleza de la ciencia: imágenes de la ciencia que influyen sobre lo que se incluye en el plan, cómo se enseñan los materiales y cómo se evalúa el plan mismo. La imagen de la ciencia que poseen quienes diseñan el plan marca la pauta del mismo, y la imagen de la ciencia que tienen los maestros influye sobre cómo se enseña y se evalúa el plan. Cuando se articulan estas imágenes de la ciencia, se convierten en afirmaciones sobre la naturaleza de la ciencia, o más específicamente sobre la epistemología de la ciencia.

La concepción de *Project 2061* sobre la naturaleza de la ciencia puede encontrarse en el capítulo 1 y se titula “La naturaleza de la ciencia”. Allí se discuten temas como la objetividad, la mutabilidad de la ciencia, las demarcaciones entre lo que es ciencia y lo que no lo es, la evidencia y cómo se relaciona con la evaluación de teorías, el método científico como lógica y como imaginación, la explicación y la predicción, la ética, la política social y la organización social de la ciencia. El objetivo es que estos temas se desarrollen en clases de ciencias; subraya que no deben tratarse como parte de los temas científicos ni pensarse como “extras”. En el capítulo 1 de *Science for All Americans,* se defienden las siguientes tesis filosóficas; pueden considerarse parte del índice de “naturaleza de la ciencia” de la AAAS o, como se discutirá en el capítulo XI, en forma más general, como “características de la ciencia”:

1) Realismo: Existe un mundo material separado e independiente de la experiencia y el conocimiento humanos. Esta postura ontológica contrasta con las variedades del idealismo que sostienen que o bien no existe un mundo externo a la experiencia humana o dicho mundo y la experiencia humana son ideatorios. El reporte dice que “la ciencia asume que el universo es […] un vasto sistema único en cualquier parte del cual existen las mismas reglas básicas” (AAAS, 1989, p. 25). El realismo sólo está comprometido con la existencia de un mundo externo. La afirmación de que las leyes son las mismas en todos lados es una elaboración de la postura realista básica. En qué medida se asume que

las “reglas básicas” son las mismas en todos lados, y en qué medida se descubre que es así es un tema de debate incluso entre los realistas.

2) Falibilismo: Los humanos pueden conocer el mundo, aunque sus conocimientos son imperfectos, y pueden hacerse comparaciones confiables entre teorías u opiniones rivales. El falibilismo es una postura epistemológica que se opone, por un lado, al relativismo, que sostiene que no pueden hacerse comparaciones confiables entre perspectivas rivales, y, por el otro, al absolutismo, que afirma que la teoría actual constituye un conocimiento absoluto e imposible de perfeccionar. El reporte dice que “Los científicos asumen que incluso si no hay forma de asegurar que se llega a una verdad completa y absoluta, pueden hacerse aproximaciones cada vez más precisas para describir el mundo y su funcionamiento” (AAAS, 1989, p. 26). Se discute mucho la idea de la “verdad aproximada”, y muchos filósofos prefieren hablar sencillamente de teorías mejores o más avanzadas.

3) Durabilidad: Un rasgo característico de la ciencia es que no abandona fácilmente sus ideas centrales; no se sostiene la caricatura falsacionista de una ciencia que analiza y rechaza ideas en una especie de proceso de control de calidad. El reporte dice: “En la ciencia la norma es la modificación de las ideas, más que su rechazo tajante, puesto que los constructos fuertes tienden a sobrevivir y a volverse cada vez más precisos” (AAAS, 1989, p. 26). El filósofo Otto Neurath nos regaló la primera expresión pintoresca de esta idea cuando comparó las correcciones a las teorías científicas con el proceso de reparar en altamar un bote que pierde: no se quita todo el caso, sino que se examina cada tabla y se remplaza una a la vez. Willard van Orman Quine popularizó la imagen:

> Somos como marineros que deben reconstruir su barco en el mar pero que nunca pueden comenzar desde cero. Cuando se quita un bao debe reemplazarse de inmediato por uno nuevo, y para ello se usa como soporte el resto del barco. Así, al usar viejos baos y madera a la deriva puede renovarse el barco completo, pero sólo mediante una reconstrucción gradual [Quine, 1960, p. 3].

Imre Lakatos formalizó esta noción con su idea de la ciencia como una serie de programas de investigación, con compromisos duros muy resistentes al cambio y compromisos que son como cinturones de seguridad que cambian para admitir datos discordantes o falsificantes (Lakatos, 1970).

4) Racionalismo: El reporte sostiene una forma modificada de racionalismo cuando afirma que: “tarde o temprano los argumentos científicos deben amoldarse a los principios del razonamiento lógico, es decir, a probar la validez de los argumentos mediante la aplicación de ciertos criterios de inferencia, demostración y sentido común” (AAAS, 1989, p. 27). Antes se creía que la ciencia siempre era racional en sus deliberaciones entre perspectivas, teorías o programas de investigación rivales. Como resultado de la investigación en historia, filosofía y sociología de la ciencia, se ha modificado esta idea, y se han reconocido los papeles del interés personal y externo en la

resolución a corto plazo de las disputas; la solución a largo plazo no es tan fácil de explicar en términos de intereses. Las iglesias cristianas finalmente aceptaron el sistema solar copernicano, y la agricultura soviética finalmente aceptó la genética mendeliana. Este tema se expondrá a profundidad en el capítulo V, en la sección "los retos sociológicos y la racionalidad de la ciencia".

5) Antimetodismo: Si bien su justificación de la teoría científica es racionalista, el reporte rechaza que exista un único método de descubrimiento científico. Afirma que: "Sencillamente no existe un conjunto fijo de pasos que los científicos sigan siempre, no hay un solo camino que los lleve en forma infalible hacia el conocimiento científico" (AAAS, 1989, p. 26). El reporte hace hincapié en la dimensión creativa de la ciencia al afirmar que:

> Los conceptos científicos no emergen en forma automática de los datos o de los análisis, sin importar cuántos se hagan. Esto suele pasarse por alto en las escuelas. Inventar hipótesis o teorías sobre cómo funciona el mundo y luego tratar de descubrir cómo pueden ponerse a prueba ante la realidad es tan creativo como escribir poesía, componer música o diseñar rascacielos [AAAS, 1989, p. 27].

6) *Demarcacionismo:* Sin embargo, la ciencia puede distinguirse de las actividades no científicas. Éste es un tema polémico y muy discutido que se encuentra en el corazón del juicio creacionista de 1981, en el que los científicos creacionistas argumentaban que su actividad era tan científica como la ciencia convencional y que por lo tanto debía tener un lugar en el plan de estudios de ciencia en las escuelas. Si el creacionismo cae dentro o fuera de esta frontera es una discusión, pero que existe dicha frontera es otra distinta. El reporte es inequívoco: "Sin embargo, existen ciertos rasgos que le dan a la ciencia su carácter distintivo como método de investigación" (AAAS, 1989, p. 26).[16]

7) Predecibilidad: El reporte dice: "No es suficiente que las teorías científicas admitan únicamente las observaciones que ya conocemos. Las teorías también deberían admitir observaciones adicionales que no se usaron para formular originalmente las teorías; es decir, las teorías deberían tener poder predictivo" (AAAS, 1989, p. 28). Parte de lo que hace única a la ciencia es su interés por predecir fenómenos y cuantificar los resultados. Esta idea tiene algunos problemas, y sabemos bien que poner algo a prueba no resulta sencillo; sin embargo, existe un consenso razonable sobre un aspecto, el de que las buenas teorías científicas deberían develar fenómenos que no se conocen aún. No pueden limitarse a explicar lo que revelan otras teorías, o lo que ya ha sido establecido por el sentido común.

8) Objetividad: Se reconoce que la ciencia es una actividad mucho más humana de lo que una vez se pensó. Los ídolos de la mente de Francis Bacon (1561-1626) sobreviven aún, a siglos de que apremiara a sus lectores, en 1620, a erradicarlos. Pero si bien el reporte reconoce el rostro humano de la ciencia también mantiene que al menos trata de corregirse y de superar los intereses subjetivos que se interponen para determinar

la verdad. Dice:

> La evidencia científica puede estar distorsionada en la forma de interpretar los datos, en el registro o reporte de los datos o incluso en la selección de los datos a considerar. La nacionalidad, sexo, origen étnico, edad, convicciones políticas y otras características de los científicos pueden predisponerlos para buscar o privilegiar un tipo de evidencia o interpretación sobre otros […] Pero los científicos buscan conocer las fuentes posibles de distorsión, y cómo puede ésta influir sobre las evidencias [AAAS, 1989, p. 28].

Algunos feministas, constructivistas y la mayor parte de los posmodernistas filosóficos han puesto en duda la posibilidad de que la ciencia sea objetiva. Este problema se discute a profundidad en el capítulo V.

9) Externalismo e interés moderados: Tratar de eliminar la subjetividad y los intereses de la determinación de las afirmaciones de verdad no equivale a decir que la esferas del conocimiento que investiga la ciencia no deben estar influidas por diversos intereses. Que se investigue sobre los viajes espaciales o sobre cómo abaratar el transporte público, sobre la energía nuclear o la solar, el desarrollo de insecticidas químicos o los controles biológicos estará en función de intereses personales, sociales y comerciales. La ciencia no opera en un vacío político; la mayor parte de los países elaboran listas de temas que tienen prioridad nacional y sólo liberan fondos públicos para la investigación científica en estas áreas. Estar dentro o fuera de la lista es un asunto político. El reporte reconoce que:

> Como actividad social, la ciencia refleja inevitablemente valores y puntos de vista sociales […] La dirección de la investigación científica se ve afectada por influencias informales de la cultura o de la ciencia misma, tales como las opiniones prevalentes sobre qué problemas son más interesantes o qué métodos de investigación tienen más probabilidades de rendir frutos […] Los organismos de financiamiento influyen sobre la dirección de la ciencia al tomar decisiones sobre qué investigación apoyar [AAAS, 1989, p. 29].

Cuando se toman decisiones como qué es la verdad en beneficio de los intereses de los organismos políticos o de financiamiento, la ciencia pasa de un externalismo moderado a uno completo. Si bien algunos sociólogos de la ciencia sostienen este último argumento, el reporte lo rechaza. El problema se investiga en el capítulo V de este libro, en la sección "la ética, los valores y la enseñanza de la ciencia".

10) Ética: El reporte reconoce que los científicos no determinan los valores éticos de la sociedad; rechaza una perspectiva triunfalista o cientificista que proponga "dejarlo todo en manos de los científicos", y en cambio muestra en qué forma el trabajo científico es crucial para mantener discusiones éticas informadas. Dice: "Los científicos tampoco poseen los medios para resolver problemas que tienen que ver con el bien y el mal, aunque a veces pueden contribuir a la discusión de estos asuntos al identificar las consecuencias probables de ciertas acciones particulares" (AAAS, 1989, p. 26). El tema también se investiga en el capítulo V, en la sección "La ética, los valores y la enseñanza

de la ciencia".

A partir de este esbozo, queda claro que la idea de ciencia detrás de *Project 2061* está influida por la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia actuales. Puesto que la idea es que el documento sea un modelo curricular y no un tratado académico, no argumenta en detalle cada una de las tesis que propone. Sin embargo, puesto que el objetivo es que los organismos locales reflexionen y respondan al documento, las ideas que contiene tendrán que desarrollarse con mayor detalle a nivel local. Los filósofos, historiadores y sociólogos de la ciencia saben que para cada uno de los puntos que se mencionan arriba existe toda una bibliografía que defiende las ideas opuestas. Sin embargo, el documento es un buen punto de partida para la reflexión, y por supuesto requiere que los maestros y los tomadores de decisiones se sientan cómodos filosofando sobre ciencia. Mientras mejor se haga esto último, más estrecha será la relación entre la comunidad educativa y la filosófica.[17]

Perspectivas históricas

Las propuestas curriculares suelen mencionar la filosofía de la ciencia, aunque no de forma tan explícita como *Project 2061*. El proyecto es diferente a los demás gracias al lugar que le otorga a la historia de la ciencia en la enseñanza de la ciencia en la escuela. En la introducción al capítulo 10, sobre "Perspectivas históricas", el reporte dice:

> Aquí el énfasis se pone en la narración de diez descubrimientos y cambios significativos que sirven como ejemplo de la evolución y el impacto del conocimiento científico: la Tierra planetaria, la gravitación universal, la relatividad, el tiempo geológico, la tectónica de placas, la conservación de la materia, la radioactividad y la fisión nuclear, la evolución de las especies, la naturaleza de la enfermedad y la Revolución industrial [AAAS, 1989, p. 111].

Sobre ellos, *Project 2061* dice que "si bien hay otras opciones que pueden ser igual de válidas, éstas cumplen inequívocamente nuestros dos requisitos: ejemplificar temas históricos y tener una importancia cultural".

Project 2061 sostiene dos tipos de argumento en defensa de la inclusión de la historia en las aulas de ciencia en la escuela, ambos de interés para los filósofos de la ciencia y para los maestros. El primero es que:

> Las generalizaciones sobre cómo funciona la actividad científica serían vanas si no estuvieran acompañadas por ejemplos concretos. Considérese, por ejemplo, la proposición de que las nuevas ideas están limitadas por el contexto en el que se conciben; con frecuencia las rechaza la comunidad científica; a veces surgen a partir de hallazgos inesperados, y por lo general toman forma lentamente, gracias a las contribuciones de muchos investigadores. Sin ejemplos históricos, estas generalizaciones no serían más que eslóganes, por más fáciles de recordar que resultaran ser [AAAS, 1989, p. 111].

El segundo argumento para llevar la historia de la ciencia a las aulas es que:

> algunos episodios en la historia de la actividad científica son de una importancia incomparable para nuestra herencia cultural. Estos episodios sin duda incluyen el papel que desempeñó Galileo para cambiar nuestra percepción del lugar que ocupamos en el universo; la demostración de Newton de que las mismas leyes que explican el movimiento de los cuerpos celestes operan en la Tierra; las extendidas observaciones de Darwin sobre la variedad y el parentesco entre las formas de vida que lo llevaron a postular un mecanismo que explicara cómo surgieron; el cuidado con el que Lyell documentó la increíble edad de la Tierra, y la conexión que hizo Pasteur de las enfermedades infecciosas con organismos diminutos que sólo podían verse a través de un microscopio. Estas historias destacan entre los parteaguas del desarrollo del pensamiento en la civilización occidental [AAAS, 1989, p. 111].

Estos comentarios subrayan el hecho, desafortunado, de que la historia de la ciencia se ha quedado nadando entre dos aguas académicas. El más grande logro de la civilización occidental, sin duda responsable en gran medida de que el mundo sea lo que es, no suele estar representado en los departamentos de historia de las escuelas (o las universidades) porque se piensa que es demasiado técnico o demasiado difícil, y no se incluye en los departamentos de ciencias porque se piensa que es irrelevante. Llevar la historia y la filosofía de la ciencia a los programas de ciencia puede remediar en parte esta situación: puede estimular la cooperación entre los departamentos escolares de historia y de ciencia, y así ayudar a alcanzar las metas integradoras de la educación.

Project 2061 le dedica una página y media a Galileo y a su gran logro en la física: "Quitar la Tierra del centro del universo". Es un enfoque bien informado de las complejas evidencias astronómicas de la época, el papel de la percepción sensorial en la ciencia aristotélica, el estado de los modelos matemáticos en la astronomía antigua, la tradición realista contra la instrumentalista en la interpretación de las teorías científicas, la interrelación de la física y la metafísica a principios de la revolución científica, el papel de la tecnología para establecer la nueva ciencia, el uso de Galileo de argumentos retóricos para establecer su postura y el complejo papel de las consideraciones teológicas en la evaluación de la ciencia galileana. También se ocupa de otros episodios históricos que le ofrecen a los maestros y a quienes diseñan los planes y programas material para considerar.

Además de estas recomendaciones, se incluyen problemas filosóficos y educativos. Uno del que se ocupa en su primer capítulo sobre filosofía es ¿cuál naturaleza de la ciencia va a enseñarse? En su capítulo histórico podría preguntarse ¿cuál historia de la ciencia va a enseñarse? Los whigs, los internalistas, los externalistas, los idealistas, los marxistas… todos tienen discursos diferentes sobre los episodios principales de la ciencia que *Project 2061* les recomienda a los maestros. En la historia de la ciencia existen muchas controversias sin resolver: tras cerca de 400 años aún no se ha asentado el polvo intelectual sobre el juicio de Galileo, como revelan la antología que el Vaticano publicó recientemente sobre el tema (Poupard, 1987) y otros estudios sobre el episodio.[18] El

reporte no reconoce que se ocupa de los parteaguas en el desarrollo de la civilización occidental, pero en las aulas multiculturales tal vez sea necesario reconocer e investigar otros parteaguas. En el capítulo que sigue se discutirán otros problemas específicamente educativos que crea la inclusión de la historia de la ciencia en el programa de estudios de ciencia.

Hábitos mentales

Science for All Americans incluye un capítulo final sobre "Hábitos mentales" que trata sobre valores, actitudes, comunicación, razonamiento, habilidades de manipulación, etc. Este tema pone sobre la mesa el eterno problema de si se puede ser científico más allá del laboratorio. Como se esboza en el capítulo II, la tradición ilustrada esperaba que aprender a investigar la naturaleza en forma científica tendría un efecto de derrama sobre la forma en que las personas piensan sobre los problemas sociales y culturales. John Dewey le dio voz a esta expectativa —también consagrada en la Constitución india— que requiere que el Estado promueva el "temperamento científico". Como ocurre con las secciones históricas y filosóficas de *Project 2061,* este último capítulo es una oportunidad más para que los maestros trabajen con los historiadores, los filósofos y los psicólogos para complementar y defender los atributos de un "hábito mental científico".[19] Además de esta tarea, el capítulo lleva la discusión hacia un problema muy viejo: ¿cuáles con las cualidades de las personas educadas? En ciencia, la educación es mucho más que la instrucción o que la suma de la instrucción en diversas disciplinas. Los maestros tienen que enseñar, claro, pero también tienen que reconocer que los objetivos de la educación son mucho más amplios, y que deben contribuir a ellos durante la enseñanza de sus materias.

Los Estándares Nacionales de Enseñanza de la Ciencia

Tras el reporte de la AAAS, el National Research Council de Estados Unidos publicó en 1996, por primera vez, los *National Science Education Standards* (Estándares Nacionales de Enseñanza de la Ciencia, NRC, 1996). En ellos se reconoce el papel central que desempeña el conocimiento filosófico e histórico en la enseñanza de la ciencia. Se afirma, por ejemplo, que los alumnos deberían aprender de qué forma:

- la ciencia contribuye a la cultura (NRC, 1996, p. 21);
- la tecnología y la ciencia están profundamente vinculadas: un mismo problema tiene aspectos tanto científicos como tecnológicos (NRC, 1996, p. 24);

- los planes de estudio con frecuencia integran asuntos que pertenecen a distintas áreas temáticas […] y a diferentes materias, tales como ciencias y matemáticas, ciencia y lengua o ciencia e historia (NRC, 1996, p. 24);
- el alfabetismo científico también incluye la comprensión de la naturaleza de la ciencia, de la actividad científica y del papel que desempeña la ciencia en la sociedad y en la vida personal (NRC, 1996, p. 21);
- los buenos maestros de ciencia poseen un amplio conocimiento de todas las disciplinas y una comprensión profunda de las que enseñan (NRC, 1996, p. 60);
- recorrer la historia de la ciencia puede mostrar lo difícil que fue para los innovadores científicos superar las ideas que se aceptaban en su época para llegar a las conclusiones que hoy damos por sentado (NRC, 1996, p. 171);
- el progreso en ciencia y tecnología puede verse afectado por temas y retos sociales (NRC, 1996, p. 199);
- si los maestros de matemáticas usan ejemplos y métodos científicos se lograrán avances en la comprensión de ambas disciplinas (NRC, 1996, p. 218).

Estas aspiraciones para las aulas no pueden alcanzarse sin maestros que estén interesados en la historia y filosofía de la ciencia y que tengan algunas habilidades en ellas. Un artículo de posicionamiento de la US Association for the Education of Teachers in Science, la asociación profesional a la que pertenecen quienes preparan a los maestros de ciencia, lo ha reconocido así en sus recomendaciones: "Estándar 1d: El formador de maestros de ciencia principiante debería poseer niveles de comprensión de la filosofía, sociología e historia de la ciencia que superan aquellos especificados en los documentos de la reforma [de Estados Unidos]" (Lederman *et al.,* 1997, p. 236).

Estándares de Ciencia de Nueva Generación

Durante los últimos tres años se ha desarrollado, poco a poco, un documento con los nuevos estándares nacionales de enseñanza de la ciencia, llamado *Next Generation Science Standards* [Estándares de ciencia de nueva generación, NGSS], (NRC, 2012, 2013).[20] Como dicen estos estándares:

> El impulso de este proyecto proviene del reconocimiento de que, si bien los documentos nacionales que se ocupan sobre el contenido de ciencia para los grados K-12 (desarrollados entre principios y mediados de la década de 1990) fueron un paso importante para reforzar la enseñanza de la ciencia, hay muchas oportunidades para mejorar, no sólo porque la ciencia ha avanzado, sino gracias a que la comunidad educativa ha aprendido algunas lecciones importantes tras diez años de implementar una enseñanza basada en estándares, y existen nuevas investigaciones sobre el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia que pueden proporcionar datos para una revisión de los estándares y ayudar a revitalizar la enseñanza de la ciencia [NRC, 2012, p. ix].

Los estándares de ciencia de nueva generación incorporan y construyen sobre los "documentos nacionales existentes", pero un rasgo novedoso es que hacen un esfuerzo consciente por vincular la enseñanza de la ciencia con las prácticas de la ciencia y de la ingeniería, y por hacerla continua y acumulativa desde inicios de la escuela básica. Se considera que esto los distingue de los "documentos nacionales existentes". Como se mencionó antes, tras dos décadas de consultas y pruebas, el US National Research Council, en su muy anticipado *A Framework for K-12 Science Education* [Un modelo de referencia para la enseñanza de la ciencia en K-12], escribe:

> El conocimiento epistémico es el conocimiento de los constructos y los valores que son intrínsecos a la ciencia. Los alumnos necesitan entender a qué nos referimos, por ejemplo, cuando hablamos de una observación, una hipótesis, una inferencia, un modelo, una teoría o una afirmación, y deben ser capaces de distinguirlos entre sí [NRC, 2012, p. 79].

Con sólo leer este párrafo nos damos cuenta de que para lograr estos propósitos en las aulas y en los planes de estudio se necesita la historia y filosofía de la ciencia. Si los alumnos tienen que saber y entender a qué nos referimos al hablar de "una observación, una hipótesis, una inferencia, un modelo, una teoría o una afirmación, y deben ser capaces de distinguirlos entre sí", no cabe duda de que los maestros deben conocer estos temas y ser capaces de interesar en ellos a sus alumnos. Si es así, de inmediato surge una pregunta: ¿dónde obtienen dicho conocimiento? ¿Dónde entra la historia y filosofía de la ciencia en el programa de formación de los maestros en ciernes o en servicio? Volveremos a esta pregunta en el capítulo XII.

La filosofía natural entró a las escuelas británicas a mediados del siglo XVIII.[21] Para mediados del siglo XIX, la "ciencia de las cosas cotidianas" era común en las escuelas primarias (Jenkins, 1979). El trabajo de los reverendos Charles Mayo y Richard Dawes fue muy influyente. No es de sorprender que, dado el entusiasmo generalizado de la época por *The Evidences* [Las evidencias] de Paley, buena parte de esta ciencia de las cosas cotidianas, y del estudio de la naturaleza, se usara para promover ideas religiosas, como la creación, el diseño y la providencia. Sin embargo, ni siquiera este aliento religioso salvó a la ciencia de quienes pensaban que las clases bajas estaban siendo peligrosamente sobreeducadas y se volvían demasiado críticas. El *Revised Curriculum Code* [Código curricular revisado] de 1862 básicamente eliminó la ciencia de las escuelas primarias financiadas por el Estado. En 1864, la Clarendon Commission ratificó la importancia de los estudios clásicos, pero también lamentó la ausencia de estudios científicos en la educación de las clases altas. En 1867, la British Association for the Advancement of Science (BAAS) usó toda su influencia para apoyar los esfuerzos por reinstalar la ciencia en las escuelas y reconformar los planes de estudio. En su influyente discurso "A liberal education; and where to find it" [Una educación liberal, y dónde encontrarla, Huxley, 1868/1964], impartida en la inauguración del South London Working Men's College, Thomas Huxley se concentró en la importancia de la ciencia para la educación y ridiculizó los planes de estudio contemporáneos que la excluían. El filósofo C. E. M. Joad caracteriza la circunstancia contra la que Huxley arremetía:

> Dejé mi escuela pública en 1910, hecho un joven e inteligente bárbaro [...] Mi familiaridad con las ciencias físicas se limitaba a sus olores. Nunca había estado en un laboratorio; no sabía qué era un elemento o un compuesto. Y no era menos ignorante de la biología. Sabía, vagamente, que el primer capítulo del Génesis no era del todo cierto, pero no sabía por qué. Para mí, la evolución sólo era un nombre, y jamás había oído hablar de Darwin [Joad, 1935, p. 9].

Henry Armstrong y el método heurístico

A finales de siglo, Henry Armstrong (1848-1937),[22] profesor de química del Imperial College de Londres, encabezó una cruzada contra la pedagogía árida, verbal y didáctica que prevalecía por entonces en los salones de ciencia, y de hecho en todos los salones. Sobre este enfoque escolástico Armstrong dijo: "No dudo en afirmar que en la actualidad la supuesta ciencia que se enseña en la mayor parte de las escuelas, en particular aquella que exigen los examinadores, no sólo es inútil sino positivamente perjudicial" (Armstrong, 1903, p. 170). En contraste con estos métodos didácticos, Armstrong defendió el método heurístico (o lo que en general puede llamarse el método del descubrimiento), que

caracterizó así:

> Los métodos de enseñanza heurísticos son métodos que implican que adentremos a nuestros alumnos, tanto como podamos, en la actitud del descubridor: métodos que implican que descubran cosas, en vez de que sólo se les digan. No debería ser necesario justificar tal política en educación […] el descubrimiento y la invención son prerrogativas divinas, que en algún sentido nos han sido concedidos a todos para que los usemos cotidianamente, y por lo tanto es importante que nos enseñen las reglas del juego del descubrimiento y que aprendamos a jugarlo con destreza [Armstrong, 1903, p. 236].

Las opiniones de Armstrong no deben identificarse con la extrema postura del "descubrimiento *ex nihilo"* o de "Robinson Crusoe" que defienden algunos entusiastas del aprendizaje mediante el descubrimiento. Adentrar a los alumnos tanto como sea posible en la actitud del descubridor significa que deben tener un conjunto de conceptos, técnicas, instrumentos y habilidades de cálculo, etc., el tipo de cosas con las que los descubridores sin duda cuentan en un inicio. Dice Armstrong:

> Está de más decir que no se puede esperar que los jóvenes alumnos descubran todo por sí mismos; pero siempre deben presentárseles los hechos de modo tal que los procesos mediante los cuales se obtienen resultados sean lo suficientemente claros, así como los métodos por los cuales se deduce cualquier conclusión basada en los hechos [Armstrong, 1903, p. 225].

En términos contemporáneos, para Armstrong el descubrimiento debe estar mediado por los maestros; los maestros tienen que transmitirles a sus alumnos conceptos, métodos y metodologías, y cuanto mejor sea esta mediación de los maestros más y mejor aprenderán los alumnos.

Armstrong también creía que el método heurístico debe ser histórico. Al respecto, comenta un artículo de Meiklejohn, de 1884, donde afirma: "Esta perspectiva tiene su lado histórico; y se verá que la mejor forma, el método más auténtico que puede seguir un individuo, es el camino que en el pasado han tomado y seguido razas enteras" (Armstrong, 1903, p. 237). Así, para Armstrong el método del descubrimiento hacía hincapié en la actividad y el razonamiento individual de los alumnos, pero esto sucedía en un contexto que creaba el maestro, y que estaba diseñado para seguir la ruta histórica del descubrimiento científico.

La cruzada de Armstrong tuvo resultados mixtos: algunas victorias, muchas derrotas, algunos conversos, muchos indiferentes. Sin embargo, comenzó una tradición en la enseñanza británica de la ciencia que ha puesto el énfasis en la enseñanza mediante la indagación, el estudio de la historia y la investigación y la actividad de los alumnos. La suerte de esta tradición ha fluctuado a lo largo del siglo pasado; en diferentes momentos, y con diferentes personas, se ha hecho énfasis en distintos aspectos de las ideas de Armstrong: la enseñanza mediante indagación puede ser ahistórica; el trabajo práctico puede ser didáctico y reducirse a seguir recetas; el estudio histórico puede servir para

edulcorar la ciencia tecnocrática. Edgar Jeknins supone que:

> A pesar del virtual eclipse del método heurístico de la enseñanza de la ciencia, muchas de las ideas de Armstrong siguen ejerciendo influencia sobre la enseñanza de la ciencia en la escuela. Se han convertido en rasgos distintivos de ésta un énfasis en la enseñanza mediante experimentos prácticos y la certeza de que es importante aprender haciendo; así, una generación después su muerte, en 1937, la reforma curricular de ciencias habría de incorporar la idea de Armstrong de que la mejor forma de que la ciencia contribuyera a la educación liberal era iniciando a los alumnos en su mayor misterio profesional: su método [Jenkins, 1979, p. 52].

El periodo de entreguerras

En el periodo de entreguerras se hicieron algunas contribuciones importantes tanto a la teoría como a la práctica de la enseñanza de la ciencia inspirada por la historia y filosofía de la ciencia. Destacan tres individuos: Frederick Westaway (1864-1964), E. J. Holmyard (1891-1959) y John Bradley.

Frederick Westaway fue uno de los "Inspectores escolares de Su Majestad" en Gran Bretaña en la década de 1920, y también autor de libros importantes sobre la historia y la filosofía de la ciencia.[23] Escribió, en un libro de texto muy popular para la formación de maestros, que los buenos maestros de ciencia son aquellos que:

> conocen su materia [...] han leído mucho sobre otras ramas de la ciencia [...] saben enseñar [...] son capaces de expresarse en forma lúcida [...] son hábiles con las manos [...] son hábiles tanto en la mesa de demostraciones como en el laboratorio [...] son lógicos natos [...] son un poco filósofos [...] saben tanto de historia que pueden sentarse con una multitud [de alumnos] y hablarles sobre las ecuaciones personales, las vidas y el trabajo de genios como Galileo, Newton, Faraday y Darwin. Y más que todo esto, son entusiastas, rebosantes de fe en su propio trabajo [Westaway, 1929, p. 3].

Uno se pregunta si 90 años de investigación educativa y de debates han añadido mucho a esta descripción de qué define a un buen maestro de ciencia.

E. J. Holmyard fue otro personaje influyente en la enseñanza de la ciencia en la Inglaterra del periodo de entreguerras. Como ocurrió con Westaway, combinó su trabajo como maestro de ciencia y prolífico autor de libros de texto con sus propias contribuciones a la historia de la ciencia.[24] Afirmó que: "El método histórico no es, me parece, uno de varios esquemas alternativos igualmente adecuados para enseñar química en las escuelas: es el único método que producirá en forma efectiva todos los resultados que son a un tiempo nuestro privilegio y nuestro deber conseguir" (Holmyard, 1924, p. 229). En otros textos, combate los "puntos de vista meramente utilitarios" en la enseñanza de la ciencia, argumentando que la ciencia debe ser considerada la más importante de las humanidades (Holmyard, 1922).

John Bradley, en la Universidad de Hull, fue uno de los mejores exponentes de la

heurística de Armstrong.[25] Estaba apasionadamente comprometido con una enseñanza de la química que le permitiera a los alumnos enamorarse de la materia: “Este enamoramiento de la química es Lo Verdaderamente Correcto en el aprendizaje de la materia, y es el único elemento de la psicología educativa que debe conocer el maestro de química” (Bradley, 1964, p. 364).

Bradley era un admirador de Ernst Mach, y escribió un libro importante sobre la filosofía machiana de la ciencia (Bradley, 1971). También adoptó su enfoque instrumentalista de la teoría, e insistió en que las discusiones teóricas tendrían que ser clasificación C y no debería exponerse a los niños a ellas sino hasta los últimos años de escuela. Dijo, con ingenio: “Los jóvenes de este país vienen a la escuela ilusionados, pidiendo el pan de la experiencia, y a cambio les damos las piedras de los modelos atómicos” (Bradley, 1964, p. 366).

Bradley diseñó un curso de introducción a la química alrededor del famoso “problema del cobre” (la oxidación), en el cual los alumnos comienzan calentando cobre y se dan cuenta de que adquiere dos capas: una de color escarlata adentro y una negra en el exterior. Allí arranca el curso; los alumnos deben sugerir razones por las que esto ocurre, ponerlas a prueba, preguntarse si al calentarse el cobre gana o pierde peso y por qué, concebir formas de calentar cobre sin presencia de aire, investigar sobre el oxígeno y los problema de reducción, etc. Todo esto es una enseñanza de muy baja tecnología. Bradley se oponía tajantemente a la “educación post-Sputnik de la National Science Foundation” que dominó en Estados Unidos, y la mayor parte del mundo occidental, a partir de 1957, y que aún tiene una presencia imponente. Escribió:

> Si regresáramos de esas tierras lejanas [Estados Unidos] con sus Jezabeles de modelos atómicos a la tierra prometida y al límpido evangelio de Armstrong, la enseñanza de la química podría mejorarse inmensamente sin tener que gastar un centavo. Es más: podría ahorrarse dinero, porque el ácido sulfúrico es más barato que los modelos de modelos de modelos [Bradley, 1964, p. 366].

La ciencia de Nuffield

En la década de 1960, comenzó a expresarse una inquietud por los niveles de éxito y de participación en la ciencia británica. La respuesta más importante a este reclamo fueron los cursos de ciencia de Nuffield. Como los de la National Science Foundation, muchos de los cursos de Nuffield defendían el aprendizaje a través del descubrimiento y la enseñanza mediante el método de indagación. Los modelos de Nuffield se desarrollaron al tiempo que se publicaba el *Plowden Report* (1967), que recomendaba para las escuelas primarias británicas una enseñanza centrada en el niño. Los modelos de Nuffield resucitaron los elementos de indagación que proponía la tradición de Armstrong, pero descuidaron, en buena medida, la dimensión histórica.

Como ocurrió con los cursos de la National Science Foundation, los de Nuffield tenían un enfoque inductivista del método científico (Steven, 1978). Esto puede verse en la guía para el maestro de física de cuarto grado, donde, al discutir la segunda ley de Newton, se recomienda:

> Los alumnos deben dejarse librados a sus medios para que saquen sus propias conclusiones a partir de las gráficas. Es mucho menos valioso, aunque mucho más rápido, que el maestro les imponga una conclusión, por mejor enseñada que esté. Lo que los alumnos descubren por ellos mismos en las pendientes de estas gráficas (sin que se les haya pedido que las examinen) permanecerá en sus mentes como uno de los grandes descubrimientos de la física, en particular si podemos decirles que están descubriendo parte de la historia de las grandes leyes del movimiento de Newton [Harris y Taylor, 1983, p. 285].

La guía de física de tercer año dice: "lo que [los alumnos] necesitan son instrucciones sencillas y generales, qué buscar y qué no buscar" (Harris y Taylor, 1983, p. 278).

Los cursos de Nuffield dominaron la enseñanza de ciencia en las escuelas británicas durante las décadas de 1960 y 1970. Como ocurrió en Estados Unidos, la idea era producir "pequeños científicos" al hacer que los alumnos se involucraran en el descubrimiento científico. Algunos de los problemas de este enfoque afloraron muy pronto. La Association for Science Education (ASE), en su libro de 1963 *Training of Graduate Science Teachers* [La formación de maestros titulados en ciencia], señaló los evidentes problemas para los maestros que no entendían, o no tenían ningún interés, en la naturaleza misma de la ciencia. Sobre los profesores titulados, dijo: "Muchos se comportan y piensan en forma científica como resultado de su formación, pero no comprenden la naturaleza y los objetivos básicos de la ciencia" (ASE, 1963, p. 13).

Ciencia contextual y ciencia, tecnología y sociedad

En la década que siguió a su adopción, se multiplicaron las críticas contra el enfoque de Nuffield. El sociólogo Michael Young observó, en 1967, que "a pesar de una década de inversión sin precedentes en la innovación curricular, la ciencia escolar aún exhibe muchas de las manifestaciones de una 'crisis' crónica" (Young, 1976, p. 47). En su reporte de 1979 *Alternatives for Science Education* [Alternativas para la enseñanza de la ciencia], la Association for Science Education defendió la enseñanza de la ciencia para todos los alumnos hasta los 16 años de edad, argumentando que los planes de estudio deberían "incorporar un equilibrio razonable entre los aspectos generales y especializados de la ciencia" y "reflejar la ciencia como una actividad cultural". En un reporte posterior, *Education Through Science* [Enseñanza por medio de la ciencia, 1981], la enseñanza de la ciencia como una actividad cultural se describió como: "una búsqueda más generalizada del conocimiento científico y de la cultura que tome en cuenta la historia, la

filosofía y las implicaciones sociales de las actividades científicas, y que lleve así a comprender la contribución que hacen la ciencia y la tecnología a la sociedad y al mundo de las ideas" (ASE, 1981). La Association for Science Education reconoció la importancia de la historia y filosofía de la ciencia en su propio proyecto de "Ciencia y sociedad", que incluye un libro de texto sobre el tema.

Plan de estudios nacional británico

La Ley Británica de Reforma Educativa de 1988 determinó que se estableciera en Inglaterra (pero no en Escocia, Gales o Irlanda del Norte) un plan de estudios nacional que remplazara los diversos planes de estudio preunivesitarios, los planes educativos de las autoridades locales y otros cursos y evaluaciones que habían caracterizado la educación secundaria británica. El National Curriculum Council (NCC) recomendó que la ciencia conformara 20% de los planes de estudio para todos los alumnos de entre cinco y 16 años de edad. Su primer reporte, *Science in the National Curriculum* [Ciencia en el plan de estudios nacional], se publicó en 1988 (NCC, 1988) y fue revisado en 1991 (NCC, 1991). En el documento original, de 1988, resulta ejemplar la importancia que se concede a la historia y filosofía de la ciencia y el detalle con el que se enumeran sus objetivos. Un sueño hecho realidad para los defensores de la historia y filosofía de la ciencia.[26]

Estudiar las batallas políticas y educativas que se han emprendido en torno al lugar de la historia y la filosofía en los planes de estudio nacionales es un ejercicio provechoso, además de aleccionador, para todos los defensores de la historia y la filosofía de la ciencia en los programas de ciencia.[27] Una característica sobresaliente del plan de estudios de ciencia era que aproximadamente 5% estaba consagrado a la historia y filosofía de la ciencia. Se trataba del último de los 17 "objetivos pedagógicos" que contenía el primer reporte. Al inicio de éste, el National Curriculum Council llama la atención sobre este campo y afirma que el plan de estudios:

> está interesado en la naturaleza de la ciencia, su historia y la naturaleza de la evidencia científica. El Consejo reconoce que a este aspecto no se le ha concedido, tradicionalmente, un lugar en la enseñanza de la ciencia en las escuelas […] Puesto que dicho objetivo puede resultarle relativamente desconocido a los maestros, se han proporcionado varios ejemplos para cada nivel, para ejemplificar el área de estudio [NCC, 1988, p. 21].

El comité detalla sus intenciones cuando afirma lo siguiente sobre el objetivo pedagógico 17: "los alumnos deberían desarrollar el conocimiento y la comprensión de las formas en las que las ideas científicas cambian a lo largo del tiempo, y cómo la naturaleza de estas ideas y los usos que se les dan se ven afectados por los contextos sociales, morales, espirituales y culturales en los que se desarrollan" (NCC, 1988, p. 113).

Si bien en el primer reporte la historia y la filosofía de la ciencia se destacaban como un objetivo pedagógico separado, se esperaba que los temas que se habían identificado se enseñaran conforme fueran apareciendo en el contexto de los otros objetivos pedagógicos. Esto se hizo explícito en el segundo reporte.

Sobre el programa de estudio para los alumnos de 11 a 14 años, el primer reporte dijo que, mediante la investigación de la vida de un científico famoso o el desarrollo de una idea importante en ciencia, debería darse a los alumnos la oportunidad de:

- estudiar las ideas y teorías que se usaron en otras épocas para explicar fenómenos naturales;
- relacionar estas ideas y teorías con la comprensión y el conocimiento científico y técnico actuales;
- comparar estas ideas y teorías con lo que ellos mismos empiezan a comprender y relacionarlo con las evidencias disponibles.

Para los alumnos de 14 a 16 años, el comité recomienda que los estudiantes continúen el rumbo descrito antes, pero que además puedan:

- distinguir entre las afirmaciones y los argumentos que están basados en datos y evidencias científicos y aquellos que no lo están;
- considerar en qué forma el desarrollo de una idea o teoría científica particulares se vincula con su contexto histórico y cultural, incluidos los aspectos espirituales y morales;
- estudiar ejemplos de controversias científicas y de qué forma han ido cambiando las ideas científicas (NCC, 1988, p. 113).

Además de proporcionar un programa de estudio, el reporte del National Curriculum Council detalló los niveles de capacidad esperados. El reporte dice que los alumnos deben:

- En el nivel 4, ser capaces de describir la historia de algún avance científico, por ejemplo en el contexto de la medicina, la agricultura, la industria o la ingeniería; describir las nuevas ideas, investigaciones o inventos que se desarrollaron, y la vida y época de los principales científicos involucrados.
- En el nivel 7, ser capaces de hacer la narración histórica de la transformación de una teoría o explicación aceptada en cierta época y demostrar que comprenden sus efectos físicos, sociales, espirituales y morales sobre la vida de las personas; por ejemplo, entender el equilibrio ecológico y sus efectos en nuestro medio ambiente, o las observaciones del movimiento de las lunas de Júpiter y el conflicto de Galileo con la Iglesia.
- En el nivel 10, ser capaces de demostrar que comprenden las diferencias en las

opiniones científicas sobre algún tema, tanto en el pasado como en el presente, a partir de la lectura de la bibliografía relevante (NCC, 1988, pp. 114-115).

Sobre estos niveles de logro, el National Curriculum Council dijo que "buscan ser tanto realistas como desafiantes en todos los rangos de capacidad de los alumnos" (NCC, 1988, p. 117). No hay duda de que eran desafiantes, y no sólo para los alumnos. En qué medida resultaban realistas dependería en gran medida de cuán informados e interesados estuvieran los maestros en la historia y filosofía de la ciencia, y por lo tanto en cuánto pesara ésta en su propia formación académica, así como también en las exigencias del sistema de evaluación: si algo no va a evaluarse, tampoco se enseñará.[28] La primera revisión del National Curriculum Council eliminó el Objetivo pedagógico 17 al integrarlo al Objetivo pedagógico 1, que tenía que ver con el trabajo práctico y la investigación en ciencia.

La historia posterior del National Curriculum, en particular la accidentada carrera de la "naturaleza de la ciencia", ha sido descrita en detalle y discutida por Edgar Jenkins (2013) y también por James Donnelly, que observa:

> He sugerido que los énfasis curriculares asociados con la naturaleza de la ciencia representan, en potencia, más que un conjunto de temas dispares […] estos ámbitos representan las posibilidades principales de tener una reforma curricular de ciencias que rebase lo meramente cosmético o instrumental. Y sin embargo, sin un sentido de coherencia y un propósito educativo subyacente, lo más probable es que se mantengan en el lugar marginal al que los ha condenado su rebelde origen educativo [Donnelly, 2001, p. 193].

La importancia de ser claro sobre los propósitos educativos, o la filosofía, de la enseñanza de la ciencia es un tema recurrente en todos los debates serios sobre enseñanza de la ciencia; por desgracia, los maestros no están bien capacitados para ello, y lo están aún menos ahora que los programas de educación para maestros están ausentes de los cursos básicos.

El curso Perspectivas de la ciencia

El esfuerzo coordinado más reciente en Gran Bretaña por enseñar materiales sobre la naturaleza de la ciencia es el nuevo curso optativo de nivel superior "Perspectives on science" [Perspectivas de la ciencia] para Inglaterra y Gales (Swinbank y Taylor, 2007). El curso tiene cuatro partes:

- Parte 1: Investigar la historia de la ciencia.
- Parte 2: Discutir problemas éticos en ciencia.
- Parte 3. Pensar filosóficamente acerca de la ciencia.
- Parte 4: Llevar a cabo un proyecto de investigación.

La primera página del libro de texto del curso dice:

> "Perspectivas de la ciencia" está diseñado para ayudarlo a abordar problemas históricos, éticos y filosóficos relativos a la ciencia. No le proporcionará respuestas sencillas, pero le permitirá desarrollar habilidades de investigación y argumentación, analizar lo que dicen y escriben otras personas, aclarar sus propias ideas y defender sus propios puntos de vista [Swinbank y Taylor, 2007, p. vii].

La sección de filosofía comienza con 16 páginas que resumen algunos asuntos consabidos de filosofía de la ciencia: naturaleza de la ciencia, inducción, falsabilidad, paradigmas, revoluciones, verdad, realismo, relativismo, etc. Pero luego pasa algo importante: el libro presenta el tema "Cómo cultivar su propia filosofía de la ciencia", con estas palabras:

> Ahora que ha aprendido algo sobre las ideas y los problemas centrales de la filosofía de la ciencia, está en posibilidades de evaluar los puntos de vista de algunos científicos, a los que les pedimos que describieran cómo ven la ciencia. El objetivo es usar estas ideas como trampolín para que usted desarrolle y defienda sus propias ideas [Swinbank y Taylor, 2007, p. 149].

Se trata de un elemento clave de cualquier propuesta competente para incluir la historia y la filosofía de la ciencia en las aulas, los planes de estudio y la formación de maestros: la historia y la filosofía de la ciencia no se aprende como si fuera un catecismo, sino que debe usarse, desarrollarse y evaluarse.

Más allá del 2000

Un grupo de importantes maestros de ciencia que reflexionaron en el Reino Unido sobre el Plan de Estudios Nacional de Gran Bretaña, y sobre la forma más apropiada de enseñar la ciencia en el nuevo milenio, escribieron un reporte con 10 recomendaciones, la sexta de las cuales dice: "El plan de estudios de ciencia debería permitirle a los jóvenes comprender algunas ideas centrales sobre la ciencia, es decir, ideas sobre las formas en las que se han obtenido, y se obtienen, conocimientos confiables sobre el mundo natural" (Millar y Osborne, 1998, p. 20).

Como parte de estas recomendaciones, los autores dicen que los alumnos también deberían familiarizarse con las historias del desarrollo de importantes ideas científicas que sirvan como ejemplo de estas ideas generales:

- que las explicaciones científicas "van más allá" de los datos disponibles y no "aparecen" sencillamente, sino que requieren introspecciones creativas (por ejemplo, los esfuerzos de Lavoisier y de Priestley por comprender la combustión);
- que muchas explicaciones científicas se encuentran en forma de "modelos" de lo

que creemos que puede estar sucediendo en un nivel en el cual no puede observarse directamente;

- que las nuevas ideas suelen encontrarse con la oposición de otros individuos y grupos, a veces provocados por compromisos sociales, políticos o religiosos de carácter general (por ejemplo, Copérnico y Galileo y el sistema solar);
- que cualquier hallazgo científico o propuesta de explicación que se reporte debe resistir el escrutinio crítico de otros científicos que trabajan en el mismo campo antes de ser aceptado como conocimiento científico (por ejemplo, el trabajo de Pasteur sobre la inmunización) (Millar y Osborne, 1998, pp. 21-22).

Cuando se examinan las contribuciones de la historia y filosofía de la ciencia al desarrollo de planes de estudios y al debate sobre la enseñanza de la ciencia, resulta útil identificar los pormenores del plan de estudios de ciencia, tecnología y sociedad. Existen puntos de contacto entre ambas tradiciones que deberían haberse explorado y usado más ampliamente.[29]

La enseñanza contemporánea de ciencia, tecnología y sociedad (aquella que ocurrió después de la década de 1980) tiene sus orígenes en los fracasos de las reformas curriculares de orientación disciplinaria de la década de 1960. Muchos entendieron que la fuga de la ciencia exigía que se diseñaran cursos de ciencias más útiles y relevantes: cursos que atraparían la atención de los alumnos y los ayudarían a entender en alguna medida la infinidad de artefactos técnicos entre los que viven y las tecnologías de transporte y manufacturas que conducen las economías modernas. En este sentido, sin embargo, los cursos de ciencia, tecnología y sociedad adoptaron uno de los postulados medulares del progresismo de la década de 1930: hacer que la educación resulte relevante en la vida de los alumnos. Continuaron la tradición de la ciencia de la vida cotidiana que era común en Estados Unidos en el periodo de entreguerras, y la ciencia de las cosas ordinarias que prevaleció en el mismo periodo en Gran Bretaña.

El movimiento educativo de ciencia, tecnología y sociedad encontró apoyo e inspiración intelectual en el campo académico de los estudios de ciencia, tecnología y sociedad que, a partir de la década de 1970, había comenzado a distinguirse en las universidades de los estudios ortodoxos de la historia y filosofía de la ciencia, que había formado su propia sociedad académica —la Society for the Social Studies of Sciences (4S)— y que tenía su propia publicación arbitrada: *Social Studies of Science.*[30] La difusión internacional de los planes de estudio y la investigación sobre ciencia, tecnología y sociedad se reflejó en la creación, a finales de la década de 1970, de la International Organization of Science and Technology Education (IOSTE).[31]

Rodger Bybee (1985, 1993), Paul DeHart Hurd (1985) y Robert Yager (1993, 1996) fueron tres importantes estadunidenses defensores de la enseñanza de la ciencia inspirada en la ciencia, tecnología y sociedad. La US National Science Teachers Association (NSTA) respaldó la orientación de ciencia, tecnología y sociedad en su declaración de 1971 *School Science Education for the 1970s* [Enseñanza de la ciencia en la escuela para la década de 1970, NSTA, 1971]. El Anuario de 1985 de la NSTA se ocupó de las razones y los contenidos de tales programas de ciencia, tecnología y sociedad (Bybee, 1985), y la publicación de la US National Science Teachers Association *The Science, Technology, Society Movement* (Yager, 1993) revisó su aplicación. La ciencia, tecnología y sociedad hizo avances significativos en los programas provinciales de enseñanza de la ciencia en

Canadá, de los cuales Glen Aikenhead fue, posiblemente, el defensor más prominente (Aikenhead, 1994, 2000).[32]

En Inglaterra, los campeones de la enseñanza de ciencia, tecnología y sociedad fueron, entre otros, John Lewis y Joan Solomons, y se manifestó en los cursos "Science and technology in society" (SATIS) y "Science in a social context" (SISCON). La Association for Science Education británica patrocinó dos proyectos curriculares, el curso "Science and society", de 1981, y el curso "Science in its social context" (SISCON, Solomon, 1985). Este último se vio influido por programas universitarios de ciencia, tecnología y sociedad que habían sido exitosos, entre los cuales destaca el libro de texto de John Ziman *Teaching and Learning about Science and Society* [Enseñar y aprender sobre ciencia y sociedad, Ziman, 1980].

Una manifestación particularmente vital de la tradición de la ciencia, tecnología y sociedad, pero que deliberadamente va "más allá de la ciencia, tecnología y sociedad", es el movimiento de temas sociocientíficos (TSC).[33] Este movimiento reconoce que es imposible evitar la discusión filosófica de la ética y la política; las causas medulares de la justicia social no pueden desarrollarse sin tocar la teoría moral, la teoría política y la teoría económica. La tarea educativa es asegurarse de que esta discusión evite adoctrinar y manipular a los alumnos y de que éstos no se casen con las causas que les parecen buenas a sus maestros; también debe evitar repetir eslóganes y adoptar las modas culturales del momento. Los maestros que tienen mejores formaciones en temas históricos y filosóficos están mejor capacitados para evitar estas trampas. Incluso una reflexión superficial sobre la diferencia entre educación y adoctrinamiento es muy valiosa para la enseñanza de los temas sociocientíficos.

Resulta evidente que las orientaciones de ciencia, tecnología y sociedad, y de historia y filosofía de la ciencia para la enseñanza de la ciencia deberían ser complementarias: la ciencia pura y la ciencia aplicada se llevan bien, la tecnología y los asuntos sociales vinculados con la tecnología tienen su historia, y es claro que tienen dimensiones filosóficas y culturales; ambas consideraciones deben ser incorporadas a los programas educativos de calidad. Una guía departamental para la enseñanza de ciencia, tecnología y sociedad, publicada en 1990 en Alberta, Canadá, y titulada *Unifying the Goals of Science Education* [Unificando los objetivos de la enseñanza de la ciencia, Alberta Education, 1990], expuso una de las tensiones crónicas básicas en la enseñanza de ciencia, tecnología y sociedad: en qué medida la enseñanza de ciencia, tecnología y sociedad puede y debe llevarse a cabo en forma independiente de la historia y filosofía de la ciencia. La guía de Alberta hace explícito su compromiso de enseñar sobre la naturaleza de la ciencia, e insiste en que esto "incluye enseñar los conceptos que los filósofos de la ciencia han desarrollado para describir la naturaleza de las actividades científicas y los orígenes, límites y naturaleza del conocimiento científico". Con

frecuencia, las prácticas de ciencia, tecnología y sociedad en el aula no están a la altura de la retórica curricular de la historia y filosofía de la ciencia.

La reforma de Estados Unidos, la de gran Gran Bretaña y casi todas las demás reformas curriculares desde la década de 1960 han buscado hacer algo más que delimitar áreas temáticas o elaborar listas de temas por enseñar; también se han ocupado de desarrollar entre los alumnos actitudes y métodos científicos. Los reformadores han buscado que los alumnos se vuelvan personas científicas, no que sólo aprendan ciencia. Para ello, en las reformas de la National Science Foundation de Estados Unidos y la Nuffield en Gran Bretaña un rasgo central fue la "indagación" o el "aprendizaje por descubrimiento". Uno de sus defensores afirmó que "Todos los avances curriculares modernos hacen énfasis en la enseñanza de la ciencia como una indagación" (Sund y Trowbridge, 1967, p. 22).[34] Evaluar el aprendizaje mediante la indagación resulta interesante porque arroja luz sobre varios asuntos educativos y filosóficos de importancia —la adquisición de conceptos, la dependencia social de la enseñanza, etc.—, pero es particularmente interesante para quienes promueven la historia y filosofía de la ciencia en la enseñanza de la ciencia.[35]

La indagación en la década de 1960

En la década de 1960, el enfoque de la indagación o el descubrimiento para la enseñanza y el aprendizaje fue defendido, en forma independiente, por dos importantes teóricos: Joseph Schwab, un pedagogo de la Universidad de Chicago involucrado en el proyecto BSCS,[36] y Jerome S. Bruner, un psicólogo cognitivo de Harvard. En 1958, Schwab publicó por primera vez sobre el tema; en 1960 profundizó en un texto que se convertiría en un clásico de la teoría de la indagación (Schwab, 1960). Bruner era director de un grupo de trabajo formado por 35 miembros, que la National Academy of Science acordó en el verano de 1959 en Woods Hole, en Cape Cod, Massachusetts, para investigar una andanada de nuevos planes de estudio y determinar si podían dilucidarse en ellos algunos principios básicos de aprendizaje y diseño curricular.[37]

La contribución principal de Bruner fue incorporar el "giro cognitivo" que estaba ocurriendo en la psicología a la discusión y la investigación educativas, y lo hizo, en buena medida, gracias a su *The Study of Thinking* [El estudio del pensamiento], publicado en 1956. Por ese entonces, el conductismo se había apoderado de la psicología, y su propio departamento en Harvard se encontraba "estancado entre el condicionamiento operante de Skinner y la psicofísica de Steven (Bruner, 1983, p. 122). Los avances en el giro cognitivo ocurrían, en los departamentos de psicología, a mucha mayor velocidad que en los departamentos de pedagogía; en la década de 1960, algunos de estos departamentos establecieron como prerrequisito para obtener un doctorado en

educación el entrenamiento efectivo de palomas. Joseph Novak (1977) destaca el control que aún ejercía el conductismo en la psicología educativa. Bruner también se preocupó por lo que sucedía en las aulas, con los maestros y con las prácticas educativas en una época en la que los psicólogos educativos preferían pensar en una "teoría educativa" en términos de ratas, palomas, estímulos y programas de reforzamiento, y en el aprendizaje humano únicamente en situaciones experimentales. En este contexto, introdujo en el grupo las ideas cognitivas, centradas en el humano, de Jean Piaget. También hizo hincapié en la importancia de la "estructura" para el aprendizaje. Esto tenía que ver con su idea de la "generatividad" del conocimiento:

> Por lo general, "aprender" significa descubrir cómo usar lo que ya sabes para poder ir más allá de lo que piensas en ese momento. Hay muchas maneras de hacerlo. Algunas son más intuitivas; otras son formalmente derivadas. Pero todas dependen de saber algo "estructural" sobre el problema al que te enfrentas: cómo embonan sus partes. Saber cómo está construido algo implica amalgamar miles de hechos sobre esa cosa. Te permite ir más allá de ella [Bruner, 1983, p. 183].

Aquí existe una ambigüedad entre el objeto material del conocimiento y el objeto teórico del mismo. Las estructuras de las disciplinas que Bruner y Schwab colocan en la vanguardia del aprendizaje de la ciencia son estructuras en los objetos teóricos de la ciencia: la estructura de definiciones y conceptos interrelacionados que contienen los *Principia* de Newton, la estructura de la geometría tal como aparece en los *Elementos* de Euclides, la estructura de la teoría evolutiva en *El origen* de Darwin, la estructura de la teoría ácido-base de Brönsted o la teoría de la tectónica de placas. Una vez que se comprenden estas estructuras, pueden derivarse unos teoremas lejanos a partir de axiomas, y pueden hacerse predicciones sobre especies intermedias o sobre la acidez de nuevos cloruros, etc. Pero éstos no son los objetos que contemplan los neófitos: ellos contemplan objetos materiales, tales como piedras que caen, triángulos o una diversidad de plantas. Aquí se usan dos acepciones muy diferentes de "estructura": la estructura de los objetos y los procesos, y la estructura de las disciplinas. La estructura de una hoja es una cosa; la estructura de la teoría de la fotosíntesis es otra muy distinta, y se necesitan modos muy diferentes de contemplar y manipular los diferentes objetos: a uno se le da vuelta en la mano, al otro en la mente. Aristides Baltas lo apunta bien:

> El concepto, digamos, de "un punto material con una masa determinada" no constituye la esencia común de las manzanas, los planetas y los proyectiles. Es, más bien, un concepto del esquema conceptual de la física que se produce en conjunto con los otros conceptos de este sistema y que se atribuye, precisamente, a estos objetos reales de modo que el sistema como un todo pueda explicar su movimiento [Baltas, 1988, p. 216].

El artículo "The art of discovery" [El arte del descubrimiento] que Bruner publicó en 1961 en la *Harvard Educational Review* popularizó el aprendizaje por descubrimiento. Con su popularidad vino su inevitable distorsión. En 1966, Bruner escribió un ensayo de

seguimiento, “Some elements of discovery” [Algunos elementos de descubrimiento], en el que se aleja de los excesos educativos que se promocionaron en nombre del aprendizaje por descubrimiento. Confiesa: “Ya no estoy seguro de qué es el descubrimiento” (Bruner, 1974, p. 84) y se queja de que “Algunos maestros pensaban que el descubrimiento era valioso por sí mismo, sin importar qué era un descubrimiento o al servicio de quién estaba” (Bruner, 1974, p. 15). Se trata de una confesión muy importante a la que deberían haber prestado atención todos los defensores ingenuos de la “ciencia divertida” o de los alumnos que eran “científicos por un día”.

El aprendizaje por descubrimiento tenía como objetivo promover las habilidades de pensamiento y razonamiento y la investigación independiente. En palabras de uno de sus defensores: “Le ofrece a los alumnos más oportunidades de pensar y aprender cómo pensar en forma crítica. Como indagadores, los alumnos aprenden a ser independientes, a comparar, analizar, sintetizar conocimiento, y desarrollar sus capacidades mentales y creativas” (Sund y Trowbridge, 1967, p. 22).

El aprendizaje por descubrimiento fue bienvenido, en particular, como una forma de que los alumnos comprendieran la naturaleza de la investigación científica. Al participar en la indagación, aprenderían por sí mismos sobre la naturaleza del razonamiento y el descubrimiento científicos. En su clásico *The Process of Education* [El proceso de la educación], Jerome Bruner escribe con optimismo que “El colegial que aprende física *es* un físico” (Bruner, 1960, p. 14), y su énfasis en ese “es” parece eliminar de la discusión temas de escala y ubicar esta afirmación en el de por sí saturado plano de la hipérbole educativa. ¿Alguien que está aprendiendo a tocar piano debe ser llamado pianista? Muchos otros textos y planes de estudio adoptaron este tema de los alumnos que hacen una investigación y por lo tanto son llamados “científicos por un día” (Harlen, 1996).

Se escribió mucho sobre la teoría y la práctica del aprendizaje por descubrimiento. Se organizaron muchas conferencias sobre el tema, una de las cuales conjuntó, en particular, a muchos críticos importantes del programa (Shulman y Keislar, 1996). Los organizadores de esta conferencia señalaron un grave problema:

> La revisión tanto de las reseñas exhaustivas de la bibliografía como de las deliberaciones de la conferencia nos llevaron a una conclusión inescapable: tal como está planteado, el problema no permite ser resuelto mediante la investigación, puesto que el tratamiento experimental que implica, el método del descubrimiento, es demasiado ambiguo e impreciso para usarse en forma significativa en una investigación experimental [Shulman y Keislar, 1996, p. 191].

Un estudio de gran escala documentó mejor el desempeño de los alumnos estadunidenses en el plan de estudios de la National Science Foundation, comparado con los planes de estudio existentes (Shymansky *et al.,* 1990), pero sólo se ocupó de los planes de estudio, no de los métodos de enseñanza. Tal vez los planes de estudio eran mejores, los maestros que los enseñaban eran más innovadores y entusiastas, había

soportes materiales más diversos, etc. Es posible que el desempeño no tenga nada que ver con los supuestos métodos de investigación. Este estudio guarda, a pesar de su escala, un curioso silencio sobre este tema vital. Cincuenta años más tarde, el mismo problema es el que entorpece los esfuerzos por evaluar el constructivismo y la pedagogía basada en la investigación contemporáneos. En forma más general, un diseño deficiente, efectos Hawthorne y una falta de grupos de control, o incluso controles, son buenas razones para analizar con atención cualquier conclusión que se desprenda de la investigación educativa (Shavelson y Towne, 2002).

En un sentido, el enfoque de la indagación era muy atractivo. Para los alumnos, aprender mediante el experimento y la manipulación, y no mediante la comunicación directa del maestro, qué materiales son atraídos por un imán y cuáles no, qué hace que un reloj de arena corra rápido y otro despacio, es un gran avance sobre la memorización y la lectura de libros de texto. Bruner dijo que los métodos de descubrimiento eran preferibles porque fomentaban un aumento en la capacidad intelectual, implicaban cambiar de recompensas externas a internas, enseñaban la heurística del descubrimiento y ayudaban en el procesamiento de recuerdos (Bruner, 1961).

Sin embargo, no siempre se cumplieron las promesas teóricas de la enseñanza por indagación. Una larga revisión de los programas y los planes de estudio basados en la indagación en la década de 1960 concluyó que: "A pesar de los nuevos planes de estudios, de maestros mejor formados y de mejores instalaciones y equipo, las expectativas más optimistas, las de obtener alumnos que se convierten en investigadores, rara vez se han cumplido" (Welch *et al.,* 1981, p. 33).

Los revisores concluyeron que el problema se encontraba, en buena medida, en los maestros: "La ciencia era una cosa que los maestros estudiaban en la universidad, pero no algo que experimentaran en forma de un proceso de indagación […] Los valores asociados con el pensamiento especulativo y crítico con frecuencia eran ignorados y a veces ridiculizados" (Welch *et al.,* 1981, pp. 38-39).

Otros revisores documentaron los efectos positivos que tenía la participación de los maestros en los programas de formación de la National Science Foundation sobre el desempeño de sus alumnos (Shymansky *et al.,* 1990). No se determinó si esto se debía a un efecto Hawthorne o a que el maestro fuera más entusiasta y estuviera mejor capacitado.

Los filósofos y los psicólogos de las décadas de 1960 y 1970 detallaron muchas de las debilidades en los supuestos fundamentales de la enseñanza mediante la indagación; indicaron que los problemas del aprendizaje por descubrimiento, la brecha entre la promesa y la ejecución, no sólo eran problemas "prácticos" que podían superarse con dinero o mayores recursos: eran problemas teóricos.[38] Son los mismos problemas que aparecen nuevamente en el constructivismo y el aprendizaje contemporáneos mediante la

indagación. Un crítico sitúa el problema del aprendizaje mediante el descubrimiento en la imagen de la ciencia, o la epistemología de la ciencia, que permeaba el plan de estudios:

> Un error básico en el proceso es que supone, al parecer, que la ciencia es una especie de actividad de sentido común, y que las "habilidades" apropiadas son los ingredientes primordiales para hacer trabajo productivo. Parece no reconocerse en forma explícita el poderoso papel de los marcos de referencia conceptuales dentro de los cuales operan tanto los científicos como los niños, y a los cuales están firmemente sujetos. Estas perspectivas generales del mundo físico requieren una cuidadosa educación [...] usando una variedad de medios [J. Myron Atkin, en Glass, 1970, p. 20].

David Ausubel, quien, con Bruner, fue responsable en buena medida de incorporar el "giro cognitivo" en la educación (Ausubel, 1968), era escéptico sobre el empeño curricular de la National Science Foundation y todas sus bases. Sobre el programa observó que: "A pesar de adoptar con frecuencia los principios del descubrimiento, los diversos proyectos curriculares han sido incapaces, hasta el momento, de producir evidencias científicas que sustenten el método del descubrimiento" (Ausubel, 1964/1969, p. 110). Sobre las bases teóricas del programa, observó que: "De hecho, con sólo reflexionar un momento cualquiera debería convencerse de que la mayor parte de lo que sabe y comprende significativamente está conformado por conocimientos alcanzados por otros, que nos han sido comunicados en forma significativa" (Ausubel, 1964/1969, p. 98).

Un problema constante era el significado mismo de "descubrimiento" al hablar de aprendizaje mediante el descubrimiento. Hay un aspecto epistemológico del concepto que es inescapable: no cualquier conocimiento proposicional que los alumnos consideren o acuerden merece ser llamado un "descubrimiento"; sólo pueden llamarse así las creencias que resultan verdaderas. Alguien puede creer que "2 + 2 = 5" o que "Moscú es la capital de Finlandia", pero éstos no pueden ser descubrimientos, porque ambos son falsas creencias. Puesto que estos juicios sobre verdad y falsedad son públicos, y no privados, no pueden ser los individuos por sí mismos, o grupos aislados, los que realicen descubrimientos. No todos los grupos que se reúnen para generar sonidos están haciendo música. No todas las combinaciones de sonidos son música; sólo los sonidos que se juzgan en forma competente como música lo son. Decir que todos los sonidos son música significa que debe introducirse otro término, "sonido +", para seleccionar lo que queremos decir con música. El sonido es necesario para la música, pero no suficiente. En la práctica, será una autoridad externa la que separe las convicciones de los descubrimientos. A fin de cuentas, hacer sonidos no es suficiente para aprender música, y lo mismo sucede entre indagar y ser científico.

En añadidura, hay un aspecto en el proceso del concepto de "descubrimiento" que resulta inescapable: un descubrimiento significa que el individuo o el grupo tiene que hacer el descubrimiento. Se requiere un elemento de compromiso y de intención. Y, en

educación, debe haber algún elemento de racionalidad, o al menos buenos argumentos involucrados en el proceso. Si un alumno no entiende la proposición o afirmación que está enunciando, no ha descubierto algo, aunque sea verdadero; puede haberlo aprendido, pero no descubierto. En forma similar, si entiende la proposición pero se le ha obligado a creerla o enunciarla, tampoco puede decirse que la ha descubierto. Si un alumno descubre que "2 + 2 = 4" y, cuando le preguntan por qué, dice que "4" es su número favorito, aunque la respuesta sea correcta no se ha tratado de un descubrimiento en el sentido educativo. En educación, "descubrir" está estrechamente emparentado con "aprender". Existe un proceso vinculado con el descubrimiento genuino, y dilucidar este proceso es una actividad filosófica, ya sea que la emprendan los filósofos o no.

Programas contemporáneos de indagación

En Estados Unidos, los *National Science Education Standards* se han comprometido en forma explícita con la enseñanza mediante la indagación; de hecho, el título de la guía para el maestro comienza: *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning* [La indagación y los Estándares Nacionales de Educación de la Ciencia: Una guía para la enseñanza y el aprendizaje, NRC, 2000]. Allí se asevera confiadamente que:

> La indagación es parte central de los estándares de enseñanza. Los estándares dicen, por ejemplo, que los maestros de ciencia "planean un programa de ciencia 'basado en la indagación' ", que "se concentran en la indagación y la apoyan" y que "alientan y modelan las habilidades de la indagación científica" [NRC, 2000, p. 21].

Muchos ven un nexo entre indagación y constructivismo:

> Así, los estándares actuales de enseñanza en Estados Unidos llaman a los maestros a adoptar la perspectiva constructivista social del aprendizaje y la enseñanza, en la cual la ciencia se describe como una forma de saber acerca de los fenómenos naturales y la enseñanza de la ciencia es una facilitación del aprendizaje de los alumnos mediante la indagación de la ciencia […] En particular, la reforma destaca la formación de maestros al promover los enfoques de enseñanza del constructivismo social [Kang, 2008, p. 478].

Todos los proyectos de "renovación" de la enseñanza de las ciencias y las matemáticas de la Unión Europea tienen como premisa la eficacia de la enseñanza mediante la indagación, o la enseñanza de la ciencia basada en la indagación (EBSE), como es llamada. Actualmente existe media docena de proyectos importantes de enseñanza de la ciencia basada en la indagación patrocinados con cerca de 100 millones de euros que provienen de fondos de la Unión Europea, entre ellos PRIMUS, Pollen, Sinus-Transfer y Fibonacci, que en conjunto involucran a más de 20 países, cientos y

cientos de escuelas, centenares de maestros y muchos miles de alumnos. Por ejemplo, el proyecto Fibonacci involucra a 60 universidades, 3 000 maestros y 45 000 alumnos.[39] El Reporte Rocard de 2007 englobó los argumentos y los programas de estos proyectos basados en la indagación; solicitó, y recibió, un "presupuesto bastante razonable de 60 millones de euros a lo largo de seis años" para llevar a cabo sus políticas (entre otras cosas):

> Las mejoras en la enseñanza de la ciencia tienen que ser provocadas por las nuevas formas de pedagogía: la introducción en las escuelas de los enfoques basados en la indagación y el desarrollo de redes de maestros deberían promoverse y apoyarse en forma activa [Rocard *et al.,* 2007, p. 17].

En un editorial de la revista *Science* se reportó que esos 60 millones de euros eran únicamente "capital semilla", y que:

> En los cuatro países, la pedagogía de la "ciencia como indagación" estimula a los alumnos (de entre 5 y 16 años de edad) a desarrollar un sentido del asombro, la observación y el razonamiento lógico. Gracias a sus interacciones con científicos, así como a nuevos métodos de evaluación y de desarrollo profesional, los maestros adquieren una confianza renovada y una mejor comprensión de la ciencia como proceso [Léna, 2009, p. 501].

No nos dicen hasta qué grado esa encomiable "confianza renovada y una mejor comprensión" se traduce en un incremento en la enseñanza mediante la indagación; tampoco nos explican cómo esta última es, en sí misma, la responsable de cualquier incremento en la matriculación de los alumnos en las áreas de ciencia o en el aprendizaje de los estudiantes. Esto requiere una investigación educativa minuciosa y controlada, que rara vez se emprende.

El proyecto PRIMAS (<www.PRIMAS-project.eu>), que involucra a 12 países europeos —Alemania, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, España, Gran Bretaña, Hungría, Malta, Noruega, Países Bajos, Rumania y Suiza—, publica en su reporte:

> Catorce universidades de 12 países están trabajando conjuntamente para promover la implementación y el empleo del aprendizaje basado en la indagación en las matemáticas y la ciencia. El proyecto PRIMAS proporciona materiales para el uso directo en las aulas y para el desarrollo profesional [PRIMAS, 2013, p. 1].

Resulta revelador que la página de internet de PRIMAS afirme:

> Un malentendido común es confundir el ABI [aprendizaje basado en la indagación] con la realización de experimentos o algún tipo de trabajo práctico en el aula. Si el maestro o la actividad que se está realizando le proporcionan a los niños el conocimiento que requieren para llevar a cabo el experimento, como si fuera una receta de cocina, difícilmente puede decirse que ese experimento está basado en la indagación. El grado de indagación depende de qué tan abierta sea la situación, así como la distribución de responsabilidades entre el maestro y los alumnos [<www.PRIMAS-project. eu/artikel/1302/What+exactly+does+inquiry-based+learning+mean/view.do?lang=en>].

Es decir, tiene un compromiso con la perspectiva de que "mientras menos guiada esté, mejor es la indagación". Esto esquiva, pues, la pregunta de si una mejor indagación (definida en estos términos) resulta en un mejor aprendizaje; la evidencia abrumadora es que no es así: aprender es una función de la mediación, y mientras más mediación exista, más se aprenderá.

Por el momento, ni el programa estadunidense ni el europeo le prestan mucha atención a los críticos de hace 50 años. En ninguna parte de las 200 páginas impresas en papel elegante y las 150 referencias de la *Teachers Guide* [Guía para maestros] estadunidense se hace mención de las críticas pedagógicas, psicológicas o filosóficas al aprendizaje por el descubrimiento ni a la enseñanza mediante la indagación que se detallaron antes; no se menciona a Bruner, Ausubel, Strike, Dearden o cualquier otro crítico importante o sus argumentos. Tampoco se habla de las abundantes críticas contemporáneas de la "enseñanza mínimamente guiada" (Kirschner *et al.,* 2006; Mayer, 2004). Estas últimas se retoman en el capítulo VIII, en el que se discute la eficacia de los métodos de enseñanza constructivistas; por el momento, es suficiente con repetir la conclusión a la que se llega en un estudio de gran escala: "El descubrimiento puro no funcionó en la década de 1960, no funcionó en la de 1970 y no funcionó en la de 1980, así que después de tres *strikes* no hay muchas razones para creer que de algún modo el descubrimiento puro va a funcionar en la actualidad" (Mayer, 2004, p. 19).

Es un claro error concentrarse en la pedagogía como la solución a los problemas que sabemos que existen en la enseñanza de la ciencia. Hay muchos problemas, y también muchas soluciones. Enviar a los maestros, o a cualquiera, en busca del Santo Grial del descubrimiento puro o la indagación mínimamente guiada los hará ir por el camino equivocado. Es un ideal que le presenta a los maestros un estándar imposible de alcanzar, y no tiene nada que contribuir al tema en el plan de estudios o en indagaciones concretas.

A principios de la década de 1960, James Rutherford hizo una observación profética que básicamente fue ignorada en su momento, y que aún lo es:

> Los maestros de ciencia tienen que aprender cómo es que se lleva a cabo la indagación en ciencias. Mientras los maestros de ciencia no adquieran una base muy sólida de conocimientos de la historia y la filosofía de la ciencia que enseñan, este tipo de entendimiento se les escapará, en cuyo caso no podrá esperarse mucho progreso en la enseñanza de la ciencia como indagación [Rutherford, 1964, p. 84].

Este libro concuerda con Rutherford cuando afirma que la familiaridad de los maestros con la historia y la filosofía de la ciencia es esencial para mejorar la enseñanza de la ciencia. Esta familiaridad le habría permitido a los maestros del pasado, y le permitiría a los del presente, evitar muchas de las ideas falsas e ingenuas asociadas con las afirmaciones del aprendizaje por descubrimiento, tales como el que el método científico es inductivo, que la observación no depende de la comprensión conceptual, y que intervenir en los objetos reales puede revelar la estructura de las teorías científicas

que se aplican a ellos.

CONCLUSIÓN

Gracias a las lecciones que aprendimos a partir de las reformas curriculares de la década de 1960 y de la crisis de la enseñanza de la ciencia en la de 1980, y armados con una mejor comprensión sobre las formas en las que aprenden ciencia los niños, en la mayor parte del mundo los proyectos curriculares procuran materializar, con creciente frecuencia, las siguientes ideas:

- Deben enseñarse menos contenidos, pero deben impartirse y evaluarse de forma tal que estimulen la comprensión más que la memorización y el aprendizaje automático.
- Deben apreciarse algunos de los vínculos entre ciencia, tecnología y sociedad, independientemente de que se impartan programas completos de ciencia, tecnología y sociedad.
- Deben apreciarse las dimensiones culturales de la ciencia, su historia y filosofía y sus implicaciones morales y religiosas; los cursos de ciencia deben enseñar *sobre* ciencia, además de ciencia misma.
- Los cambios curriculares sólo serán efectivos si van acompañados por cambios amplios y sistemáticos en los programas de formación o capacitación de maestros, en el financiamiento, en los esquemas de evaluación y en los textos.

Estas ideas tienen sus propios problemas y tensiones internas. Es posible que los documentos curriculares sobreestimen la magnitud y sofisticación de los materiales de historia y filosofía de la ciencia que pueden transmitirse en un programa escolar que está consagrado principalmente a la enseñanza de la ciencia. Los temas que se mencionan en *Project 2061* y en la primera versión del plan de estudios nacional de Gran Bretaña son muy complejos, y tanto maestros como alumnos deben entender que hay muy pocas respuestas sencillas. Es posible que lo más que pueda transmitirse a la mayor parte de los alumnos, siendo realistas, sea el interés por las preguntas y el reconocimiento de su complejidad, dadas las exigencias de los planes de estudio y de otros temas. Si bien se trata de una ambición modesta, es una muy importante.

El desarrollo curricular y la enseñanza en las aulas deben estar al tanto de la preparación psicológica de los alumnos. El pensamiento científico maduro requiere procesos de pensamiento formal en el esquema piagetiano de las modalidades operativas de pensamiento sensorimotor, preoperativo, operativo concreto y formal. Estos procesos de pensamiento se desarrollan en forma tardía. Se estima que en Estados Unidos la mayor parte de los alumnos de primer año de universidad no han alcanzado aún la etapa de pensamiento operativo formal. Un estudio estadunidense mostró que menos de 6% de las personas de 17 años de edad puede resolver problemas sencillos de álgebra (Cromer, 1993, p. 26). Se estima que en Gran Bretaña menos de 20% de las personas de 16 años

de edad en escuelas de enseñanza general se encuentran en la etapa formal del razonamiento (Black y Lucas, 1993, p. 34). Es una razón muy poderosa para que la enseñanza de la ciencia sea, en sus inicios, tan fenomenológica y concreta como sea posible, y para que se le preste una atención explícita al fomento del razonamiento formal y abstracto.

Los maestros involucrados en la dimensión de historia y filosofía de la ciencia también tienen que ser sensibles a la naturaleza del desarrollo psicológico. Los maestros y los pedagogos tienen que buscar en el ámbito de la historia y la filosofía de la ciencia el equivalente del material fenomenológico. Las cosas tienen que ser simples, concretas y precisas. Las grandes preguntas —¿cuál es la naturaleza de la ciencia?, ¿qué relación tienen la ciencia y la religión?, ¿de verdad es posible conocer el mundo?, ¿la ciencia es sólo un producto social?— deben acometerse muy poco a poco. Ser capaz de sostener discusiones significativas sobre estas preguntas requiere capacidades sofisticadas de pensamiento y unas buenas reservas de información sobre temas particulares de la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia.

Prestarle una atención prematura a las grandes preguntas de la historia y filosofía de la ciencia no hace más que abaratar y devaluar la actividad intelectual. Esto sucede mucho en la sociedad, en la cual los análisis superficiales de los complejos problemas económicos, políticos y éticos constituyen la norma. Desafortunadamente también pasa mucho en las escuelas, donde se anima a los niños a dar su opinión sobre toda clase de temas, sin importar que posean algún conocimiento sobre ellos. Esta práctica educativa devalúa sistemáticamente la adquisición de conocimiento y el pensamiento sostenido. La buena enseñanza de la ciencia, conocedora de la historia y la filosofía de la ciencia, puede contrarrestar estas prácticas narcisistas al mostrar que las cosas son más complejas de lo que parecen.

AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1989), *Project 2061: Science for All Americans,* Washington, D. C., AAAS. También lo publicó, en 1990, Oxford University Press.

Aikenhead, G. S. (1994), "What is STS teaching?", en J. Solomon y G. Aikenhead (coords.), *STS Education: International Perspectives on Reform,* Nueva York, Teachers College Press, pp. 47-59.

———— (2000), "Renegotiating the culture of school science", en R. Millar y J. Osborne (coords.), *Improving Science Education,* Filadelfia, Open University Press, pp. 245-264.

Alberta Education (1990), *Unifying the Goals of Science Education,* Edmonton, Curriculum Support Branch.

Andersen, H. O. (coord.) (1969), *Readings in Science Education for the Secondary School,* Nueva York, Macmillan.

Armstrong, H. E. (1903), *The Teaching of Scientific Method and Other Papers on Education,* Londres, Macmillan.

Arons, A. B. (1983), "Achieving wider scientific literacy", *Daedalus,* vol. 112, núm. 2, pp. 91-122.

ASE (Association for Science Education) (1963), *Training of Graduate Science Teachers,* Hatfield, ASE.

———— (1979), *Alternatives for Science Education,* Hatfield, ASE.

———— (1981), *Education Through Science,* Hatfield, ASE.

Atkinson, P., y S. Delamont (1977), "Mock-ups & cock-ups", en M. Hammersley y P. Woods (coords.), *The Process of Schooling,* Londres , Routledge & Kegan Paul, pp. 87-108.

Ausubel, D. P. (1964/1969), "Some psychological aspects of the structure of knowledge", en S. Elam (coord.), *Education and the Structure of Knowledge,* Chicago, Rand McNally. [Hay edición en español: *Educación y estructura del conocimiento,* Buenos Aires, Ateneo, 1974.]

———— (1968), *Educational Psychology: A Cognitive View,* Nueva York, Holt, Rinehart & Winston (2ª ed. de 1978, con Novak y Hanesion). [Hay edición en español: *Psicología educativa,* México, Trillas, 1976.]

Baltas, A. (1988), "On the structure of physics as a science", en D. Batens y J. P. van Bendegens (coords.), *Theory and Experiment,* Dordrecth, Reidel, pp. 207-225.

Bauer, H. H. (1992), *Scientific Literacy and the Myth of the Scientific Method,* Urbana, University of Illinois Press.

Bennett, J., S. Hogarth y F. Lubben (2007), "Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to

science teaching", *Science Education,* vol. 91, núm. 3, pp. 347-370.

Bernal, J. D. (1939), *The Social Function of Science,* Londres, Routledge & Kegan Paul.

Bishop, J. (1989), "Scientific illiteracy: Causes, costs, and cures", en A. B. Champagen, B. E. Lovitts y B. J. Callinger (coords.), *This Year in School Science 1989. Scientific literacy,* Washington, D. C., American Association for the Advancement of Science, pp. 41-88.

Black, P. J., y A. M. Lucas (coords.) (1993), *Children's Informal Ideas in Science,* Nueva York, Routledge.

Boyer, E. L. (1983), *High School: A Report on Secondary Education in America,* Nueva York, Harper & Row.

Bradley, J. (1963-1968), "A scheme for the teaching of chemistry by the historical method", *School Science Review,* vol. 44, pp. 549-553; vol. 45, pp. 364-368; vol. 46, pp. 126-133; vol. 47, pp. 65-71, 702-710; vol. 48, pp. 467-474; vol. 49, pp. 142-150, 454-460.

——— (1964), "Chemistry II: The copper problem", *School Science Review,* vol. 45, pp. 364-368.

——— (1971), *Mach's Philosophy of Science,* Londres, Athlone Press of the University of London.

Brock, W. H. (1973), *H. E. Armstrong and the Teaching of Science 1880-1930,* Cambridge, Cambridge University Press.

——— (1989), "History of science in British schools: Past, present and future", en M. Shortland y A. Warwick (coords.), *Teaching the History of Science,* Oxford, Basil Blackwell, pp. 30-41.

——— (1996), *Science for All: Studies in the History of Victorian Science and Education,* Aldershot, Variorum Press.

Brock, W. H., y E. W. Jenkins (2014), "Frederick W. Westaway and science education: An endless quest", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecth, Springer, pp. 2359-2382.

Bruner, J. S. (1960), *The Process of Education,* Nueva York, Random House.

——— (1961), "The act of discovery", *Harvard Educational Review,* vol. 31, pp. 21-32. Reimpreso en R. C. Anderson y D. P. Ausubel (coords.), *Readings in the Psychology of Cognition,* Nueva York, Holt, Rinehart and Winston, 1965.

——— (1974), "Some elements of discovery", en *Relevance of Education,* Hardmondsworth, Penguin, pp. 84-97. Publicado originalmente en L. Shulman y E. Keislar (coords.), *Learning by Discovery,* Chicago, Rand McNally, 1966. [Hay edición en español: *Aprendizaje por descubrimiento,* México, Trillas, 1974.]

———— (1983), *In Search of Mind: Essays in Autobiography,* Nueva York, Harper & Row.

Bybee, R. W. (1993), *Reforming Science Education: Social Perspectives and Personal Reflections,* Nueva York, Teachers College.

———— (coord.) (1985), *Science, Technology, Society, Yearbook of the National Science Teachers Association,* Washington, D. C., NSTA.

Callahan, R. E. (1962), *Education and the Cult of Efficiency,* Chicago, University of Chicago Press.

Conant, J. B. (1945), *General Education in a Free Society: Report of the Harvard Committee,* Cambridge, Harvard University Press.

Crane, L. T. (1976), *The National Science Foundation & Pre-College Science Education: 1950-1975,* Washington, D. C., US Government Printing Office.

Cromer, A. (1993), *Uncommon Sense: The Heretical Nature of Science,* Nueva York, Oxford University Press.

Dearden, R. F. (1967), "Instruction and learning by discovery", en R. S. Peters (coord.), *The Concept of Education,* Londres, Routledge & Paul Kegan, pp. 135-155.

DeBoer, G. E. (1991), *A History of Ideas in Science Education,* Nueva York, Teachers College Press.

———— (2014), "Joseph Schwab: His work and his legacy", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 2433-2458.

Dewey, J. (1910), "Science as a subject-matter and as a method", *Science,* vol. 31, pp. 121-127. Reproducido en *Science & Education,* 1995, vol. 4, núm. 4, pp. 391-398.

Donnelly, J. F. (2001), "Contested terrain or unified project? 'The nature of science' in the National Curriculum for England and Wales", *International Journal of Science Education,* vol. 23, núm. 2, pp. 181-195.

Education Policies Commission (1966), *Education and the Spirit of Science,* Washington, D. C., National Education Association.

Eisner, E. (1979), *The Educational Imagination: On the Design and Evaluation of School Programs,* Nueva York, Macmillan.

Elbers, G. W., y P. Duncan (coords.) (1959), *The Scientific Revolution: Challenge and Promise,* Washington, D. C., Public Affairs Press.

Fantoli, A. (1994), *Galileo: For Copernicanism and for the Church,* trad. de G. V. Coyne, Ciudad del Vaticano, Publicaciones del Observatorio Astronómico del Vaticano, distribuido por University of Notre Dame Press. [Hay edición en español: *Galileo: Por el copernicanismo y por la Iglesia,* Estella, Verbo Divino,

2011.]
Finocchiaro, M. A. (1989), *The Galileo Affair: A Documentary History,* Berkeley, University of California Press.
———— (2005), *Retrying Galileo: 1633-1992,* Berkeley, University of California Press.
Flude, M., y M. Hammer (1990), *The Education Reform Act 1988,* Basingstoke, Falmer Press.
Gauld, C. F. (2005), "Habits of mind, scholarship and decision-making in science and religion", *Science & Education,* vol. 14, núms. 3-5, pp. 291-308.
Glass, B. (1970), *The Timely and the Timeless: The Interrelations of Science Education and Society,* Nueva York, Basic Books.
Good, R. G. (2005), *Scientific and Religious Habits of Mind,* Nueva York, Peter Lang.
Graham, D. (1993), *A Lesson for Us All,* Londres, Routledge.
Harlen, W. (1996), *The Teaching of Science in Primary Schools,* Londres, David Fulton.
Harms, N. C., y R. E. Yager (1981), *What Research Says to the Science Teacher,* vol. 3, Washington, D. C., NSTA.
Harris, D., y M. Taylor (1983), "Discovery learning in school science: The myth & the reality", *Journal of Curriculum Studies,* vol. 15, pp. 277-289.
Helgeson, S. L., P. E. Blosser y R. W. Howe (1977), *The Status of Pre-College Science, Mathematics, and Social Science Education: 1955-1975,* Washington, US Government Printing Office.
Herron, M. D. (1971), "The nature of scientific inquiry", *School Review,* vol. 79, pp. 170-212.
Hodson, D. (1987), "Social control as a factor in science curriculum change", *International Journal of Science Education,* vol. 9, pp. 529-540.
Hogben, L. (1940), *Science for the Citizen,* 2ª ed., Londres, Allen & Unwin (1ª ed., 1938).
Holmyard, E. J. (1922), *Inorganic Chemistry: A Textbook for Schools and Colleges,* Londres, Edward Arnold.
———— (1924), "The historical method of teaching chemistry", *School Science Review,* vol. 20, núm. 5, pp. 227-233.
Holton, G. (1986), "'A nation at risk' revisited", en *The Advancement of Science and Its Burdens,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 253-278.
Hurd, P. D. (1961), *Biological Education in American Secondary Schools 1890-1960,* Washington, D. C., American Institute of Biological Science.
———— (1985), "A rationale for a science, technology, and society theme in science

education", en R. W. Bybee (coord.), *Science, Technology, Society. Yearbook of the National Science Teachers Association,* Washington, D. C., NSTA, pp. 94-101.

Huxley, T. H. (1868/1964), "A liberal education; and where to find it", en *Science and Education,* Nueva York, Appleton (original de 1885). Reimpreso con introducción de C. Winick, Nueva York, Citadel Press, 1964, pp. 72-100.

———— (1885/1964), *Science and Education,* Nueva York, The Citadel Press.

Jackson, P. W. (1983), "The reform of science education: A cautionary tale", *Daedalus,* vol. 112, núm. 2, pp. 143-166.

Jenkins, E. W. (1979), *From Armstrong to Nuffield,* Londres, John Murray.

———— (2013), "The 'nature of science' in the school curriculum: The great survivor", *Journal of Curriculum Studies,* vol. 45, núm. 2, pp. 132-151.

———— (2014), "E. J. Holmyard and the historical approach to science teaching", en M. R. Matthew (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecth, Springer, p. 2383-2408.

Joad, C. E. M. (1935), *The Book of Joad: A Belligerent Autobiography,* Londres, Faber & Faber.

Kang, N. H. (2008), "Learning to teach science: Personal epistemologies, teaching goals, and practices of teaching", *Teaching and Teacher Education,* vol. 24, pp. 478-498.

Kelly, G. J. (2014), "Inquiry teaching and learning: Philosophical considerations", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1363-1380.

Kirschner, P., J. Sweller y R. E. Clark (2006), "Why minimally guided learning does not work: An analysis of the failure of discovery learning, problem-based learning, experiential learning and inquiry-based learning", *Educational Psychologist,* vol. 41, núm. 2, pp. 75-96.

Klopfer, L. E. (1964), "The use of case histories in science teaching", *School Science and Mathematics,* noviembre, pp. 660-666. Reimpreso en H. O. Andersen (coord.), *Readings in Science Education for the Secondary school,* Nueva York, Macmillan, 1969, pp. 226-233.

Klopfer, L. E., y A. B. Champagne (1990), "Ghosts of crisis past", *Science Education,* vol. 74, núm. 2, pp. 133-154.

Klopfer, L. E., y W. W. Cooley (1963), "Effectiveness of the history of science cases for high schools in the development of student understanding of science and scientists", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 1, pp. 35-47.

Lakatos, I. (1970), "Falsification and the methodology of scientific research programmes", en I. Lakatos y A. Musgrave (coords.), *Criticism and the Growth*

of Knowledge, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 91-196. [Hay edición en español: *La crítica y el desarrollo del conocimiento,* Barcelona, Grijalbo, 1975.]

Laudan, L. (1983), "The demise of the demarcation problems", en R. S. Cohen y L. Laudan (coords.), *Physics, Philosophy and Psychoanalysis,* Dordrecth, Reidel, pp. 111-127.

Layton, A. D., y S. R. Powers (1949), *New Directions in Science Teaching,* Nueva York, McGraw-Hill.

Layton, D. (1973), *Science for the People. The Origins of the School Science Curriculum in England,* Londres, George Allen & Unwin.

Lederman, N. G., P. J. Huerbis, C. C. Loving, L. Ramey-Gassert, A. Roychoudhury y B. S. Spector (1997), "Professional knowledge standards for science teacher educators", *Journal of Science Teacher Education,* vol. 8, núm. 4, pp. 233-240.

Léna, P. (2009), "Editorial: Europe rethinks education", *Science,* vol. 324, p. 501.

Mach, E. (1886/1986), "On instruction in the classics and the sciences", en *Popular Scientific Lectures,* LaSalle, Illinois, Open Court Publishing, pp. 338-374.

Machamer, P. (1992), "Philosophy of science: An overview for educators", en R. W. Bybee, J. D. Ellis, J. R. Giese y L. Parisi (coords.), *Teaching about the History and Nature of Science and Technology: Background Papers,* Colorado Springs, BSCS-SSEC, pp. 9-18. Reimpreso en *Science & Education,* vol. 7, núm. 1, pp. 1-11, 1998.

Mahner, M. (2007), "Demarcating science from pseudoscience", en T. Kuipers (coord.), *Handbook of the Philosophy of Science: General Philosophy of Science – Focal Issue,* Ámsterdam, Elsevier, pp. 515-575.

Mann, C. R. (1912), *The Teaching of Physics for Purposes of General Education,* Nueva York, Macmillan.

Mansell, A. E. (1976), "Science for all", *School Science Review,* vol. 57, pp. 579-585.

Mayer, R. E. (2004), "Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction", *American Psychologist,* vol. 59, núm. 1, pp. 14-19.

McComas, W. F. (2014), "Nature of science in the science curriculum and in teacher education programmes in the United States", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1993-2023.

McMullin, E. (coord.) (2005), *The Church and Galileo,* Notre Dame, University of Notre Dame Press.

Metz, D. (2014), "The history and philosophy of science in science curricula and

teacher education in Canada", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecth, Springer, pp. 2025-2043.

Millar, R., y J. Osborne (1998), *Beyond 2000: Science Education for the Future,* Londres, School of Education, King's College.

Monk, M., y J. Osborne (1997), "Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy", *Science Education,* vol. 81, núm. 4, pp. 405-424.

Novak, J. D. (1977), *A Theory of Education,* Nueva York, Cornell University Press.

NCC (National Curriculum Council) (1988), *Science in the National Curriculum,* York, NCC.

———— (1991), *Science for Ages 5 to 16,* Londres, DES.

NCEE (National Commission on Excellence in Education) (1983), *A Nation at Risk: The Imperative for Education Reform,* Washington, D. C., US Department of Education.

NRC (National Research Council) (1996), *National Science Education Standards,* Washington, D. C., National Academies Press.

———— (2000), *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning,* Washington, D. C., National Academies Press.

———— (2007), *Taking Science to School. Learning and Teaching Science in Grades K-8,* Washington, D. C., National Academies Press.

———— (2012), *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas,* Washington, D. C., National Academies Press.

———— (2013), *Next Generation Science Standards,* Washington, D. C., National Academies Press.

NSTA (National Science Teachers Association) (1971), *School Science Education for the '70s,* Washington, D. C., NSTA.

Nunn, T. P. (1907), *The Aims and Achievements of the Scientific Method,* Nueva York, Macmillan.

Pennock, R. T. (2011), "Can't philosophers tell the difference between science and religion? Demarcation revisited", *Synthese,* vol. 178, núm. 2, pp. 177-206.

Piel, E. J. (1981), "Interaction of science, technology, and society in secondary schools", en N. C. Harms y R. E. Yager (coords.), *What Research Says to the Science Teacher,* vol. 3, Washington, D. C., NSTA, pp. 91-112.

Poupard, P. (coord.) (1987), *Galileo Galilei: Toward a Resolution of 350 Years of Debate – 1633-1983,* Pittsburgh, Duquesne University.

Praagh, G. van (1949), *Chemistry by Discovery,* Londres, Murray.

PRIMAS (2013), *Inquiry-Based Learning in Maths and Science,* Friburgo, Unión Europea.
Pumfrey, S. (1991), "History of science in the British National Science Curriculum: A critical review of resources and their aims", *British Journal for the History of Science,* vol. 24, pp. 61-78.
Quine, W. V. O. (1960), *Word and Object,* Cambridge, MIT Press.
Raizen, S. A. (1991), "The reform of science education in the U.S.A: Déjà vu or de nova", *Studies in Science Education,* vol. 19, pp. 1-41.
Redondi, P. (1988), *Galileo Heretic,* Londres, Allen Lane.
Roberts, D. A. (1982), "Developing the concept of 'curriculum emphases' in science education", *Science Education,* vol. 66, pp. 243-260.
Rocard, M., P. Osermely, D. Jorge, D. Lenzen y H. Walberg Henniksson (2007), *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe,* Bruselas, Comisión Europea.
Rosenthal, D. B. (1985), "Biology education in a social and moral context", en R. W. Bybee (coord.), *Science, Technology, Society. Yearbook of the National Science Teachers Association,* Washington, D. C., NSTA, pp. 102-116.
Rosenthal, D. B., y R. W. Bybee (1987), "Emergence of the biology curriculum: A science of life or a science of living?", en T. S. Popkewitz (coord.), *The Formation of the School Subjects: The Struggle for Creating an American Institution,* Nueva York, Falmer Press, pp. 123-144.
Rudolph, J. L. (2002), *Scientists in the Classroom: The Cold War Reconstruction of American Science Education,* Nueva York, Palgrave.
———— (2008), "Historical writing on science education: A view of the landscape", *Studies in Science Education,* vol. 44, núm. 1, pp. 63-82.
Rutherford, F. J. (1964), "The role of inquiry in science teaching", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 2, pp. 80-84. Reimpreso en W. D. Romey (coord.), *Inquiry Techniques for Teaching Science,* Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1968, pp. 264-270.
Rutherford, F. J., y A. Ahlgren (1990), *Science for All Americans,* Nueva York, Oxford University Press.
Sadler, T. D. (coord.) (2011), *Socio-Scientific Issues in the Classroom: Teaching, Learning and Research,* Dordrecth, Springer.
Schulz, R. M. (2014), "Philosophy of education and science education: A vital but underdeveloped relationship", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecth, Springer, pp. 1259-1315.
Schwab, J. J. (1960), "The teaching of science as enquiry", en J. J. Schwab y P.

Brandwein (coords.), *The Teaching of Science,* Cambridge, Harvard University Press, pp. 1-103.

Shavelson, R. J., y L. Towne (coords.) (2002), *Scientific Research in Education,* Washington, D. C., National Academy Press.

Shulman, L. S., y E. R. Keislar (coords.) (1996), *Learning by Discovery: A Critical Appraisal,* Chicago, Rand McNally.

Shymansky, J. A., L. V. Hdeges y G. Woodworth (1990), "A resassessment of the effects of inquiry-based science curricula of the 60's on student performance", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 27, núm. 2, pp. 127-144.

Solomon, J. (1985), "Science in a social context: Details of a British high school course", en R. W. Bybee (coord.), *Science, Technology, Society. Yearbook of the National Science Teachers Association,* Washington, D. C., NSTA, pp. 144-157.

Stevens, P. (1978), "On the Nuffield philosophy of science", *Journal of Philosophy of Education,* vol. 12, pp. 99-111.

Strike, K. A. (1975), "The logic of learning by discovery", *Review of Educational Research,* vol. 45, pp. 461-483.

Sund, R. B., y L. W. Trowbridge (coords.) (1967), *Teaching Science by Inquiry,* Columbus, Charles Merrill.

Swinbank, E., y J. Taylor (coords.) (2007), *Perspectives on Science: The History, Philosophy and Ethics of Science,* Harlow, Heineman.

Taylor, J. L., y A. Hunt (2014), "History and philosophy of science and the teaching of science in England", en M. R. Matthews (coord.), *Internacional Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 2045-2081.

Uglow, J. (2002), *The Lunar Men: Five Friends Whose Curiosity Changed the World,* Londres, Faber & Faber.

Vesterinen, V.-M., M.-A. Manassero y A. Vázquez Alonso (2014), "History, philosophy and sociology of science and science-technology-society traditions in science education: Continuities and discontinuities", en M. R. Matthews (coord.), *Internacional Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1895-1925.

Waring, M. (1979), *Social Pressures & Curriculum Innovation: A Study of the Nuffield Foundation Science Teaching Project,* Londres, Methuen.

Welch, W. W. (1979), "Twenty years of science education development: A look back", *Review of Research in Education,* vol. 7, pp. 282-306.

Welch, W. W., L. Klopfer, G. Aikenhead y J. Robinson (1981), "The role of inquiry in science education: Analysis and recomendations", *Science Education,* vol. 65, núm. 1, pp. 33-50.

Wellington, J. J. (1981), "What's supposed to happen, sir? – Some problems with discovery learning", *School Science Review,* vol. 63, núm. 222, pp. 167-173.

Westaway, F. W. (1929), *Science Teaching,* Londres, Blackie and Son.

Woodhull, J. F. (1910), "The teaching of physical science", *Teachers College Record,* vol. 11, núm. 1, pp. 1-82.

Yager, R. E. (coord.) (1993), *The Science, Technology, Society Movement,* Washington, D. C., NSTA.

———— (1996), *Science/technology/society as Reform in Science Education,* Albany, SUNY Press.

Young, M. F. D. (1976), "The schooling of science", en G. Whitty y M. F. D. Young (coords.), *Explorations in the Politics of School Knowledge,* Driffeld, Nafferton Books, pp. 47-61.

Zacharias, J. R. (1964), "Curriculum reform in the USA", en S. C. Brown, N. Clarke y J. Tiomno (coords.), *Why Teach Physics: International Conference of Physics in General Education,* Cambridge, MIT Press, pp. 66-70.

Zeidler, D. L., y T. D. Sadler (coords.) (2008), "Social and ethical issues in science education", número especial de *Science & Education,* vol. 17, núms. 8-9.

Ziman, J. (1968), *Public Knowledge: The Social Dimensions of Science,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *El conocimiento público: Un ensayo sobre la dimensión social de la ciencia,* México, Fondo de Cultura Económica, 1972.]

———— (1980), *Teaching and Learning about Science and Society,* Cambridge, Cambridge University Press.

———— (1994), "The rationale of STS education is in the approach", en J. Solomon y G Aikenhead (coords.), *STS Education: International Perspectives on Reform,* Nueva York, Teachers College Press, pp. 21-31.

IV. LA HISTORIA DE LA CIENCIA EN LOS PLANES DE ESTUDIO Y EN LAS AULAS

A mediados del siglo XIX, el duque de Argyll, en su discurso como presidente de la British Association for the Advancement of Science (BAAS), afirmó que "lo que buscamos al enseñar a los jóvenes no son tanto los meros resultados como los métodos, y sobre todo, la historia de la ciencia" (Jenkins, 1990, p. 27). El llamado del duque ha sido más ignorado que atendido, pero en la enseñanza de la ciencia existe una tradición minoritaria que ha intentado introducir un poco de historia de la ciencia en la enseñanza de la materia. Leo Klopfer, dedicado por mucho tiempo a esta tarea en Estados Unidos, hizo esta observación melancólica sobre dicha tradición:

> Las propuestas de entretejer la historia y la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de la ciencia en las escuelas y universidades tienen una historia de más de 60 años. Durante este largo periodo, se han producido diversos tipos de materiales educativos que entraman la ciencia y la historia de la ciencia. Los relatos históricos, las lecciones y las unidades por lo general sirvieron el propósito de transmitir una filosofía de la ciencia en la que los educadores creían por ese entonces. Su filosofía de la ciencia identificaba ideas sobre la naturaleza de la ciencia que deseaban que sus alumnos entendieran o apreciaran. Estas ideas servían como pilares para una red, y los hilos de los contenidos científicos y la historia de la ciencia formaban el diseño de la red. Y sin embargo, cada una de estas redes era frágil; no era frecuente que duraran mucho, y dejaron pocas huellas en el paisaje de la enseñanza de la ciencia [Klopfer, 1992, p. 105].

Este capítulo hará un esbozo de la suerte cambiante de la historia de la ciencia en los programas de estudio de ciencia y detallará algunos de los argumentos que se han usado para incluir la historia en los planes de estudio de ciencia. Para ejemplificar estos argumentos, comparará los enfoques históricos de la enseñanza del tema de la presión atmosférica con los enfoques "profesionales" o "técnicos". Para terminar, sopesará y rechazará algunos argumentos que han adelantado científicos e historiadores contra la inclusión de la historia en el plan de estudios de ciencia.

En diferentes épocas y lugares, se han invocado las siguientes razones para incluir un componente histórico en los planes de estudio de ciencias:

1) La historia promueve comprender mejor los conceptos y métodos de la ciencia.
2) Los enfoques históricos vinculan el desarrollo del pensamiento individual con el desarrollo de las ideas científicas.
3) La historia de la ciencia es valiosa por sí misma. Todos los alumnos deberían estar familiarizados con los episodios importantes en la historia de la ciencia y la cultura.
4) La historia es necesaria para entender la naturaleza de la ciencia.
5) La historia, al examinar la vida y la época de los científicos, humaniza la ciencia como materia y la vuelve menos abstracta y más atractiva para los alumnos.
6) La historia permite establecer vínculos entre temas y disciplinas de la ciencia y otras disciplinas académicas; la historia pone en evidencia la naturaleza integradora y mutuamente dependiente de los logros humanos.

La historia promueve la comprensión de conceptos

El primer argumento tiene como base la convicción de que cualquier comprensión sólida es necesariamente histórica. En general, se acepta la importancia de la historia para entender correctamente las instituciones sociales, por ejemplo los partidos políticos y las iglesias, o los usos y costumbres sociales, tales como los ritos de matrimonio y las leyes asociadas, pero no se reconoce con tanta frecuencia que el mismo tipo de reflexiones se aplican a la comprensión de los productos intelectuales de la ciencia. Ernst Mach pensaba que "La investigación histórica no sólo promueve la comprensión de lo que ahora existe, sino que también nos abre nuevas posibilidades" (Mach, 1883/1960, p. 316). Para Mach, la perspectiva que brinda la historia le permite a las personas en general, y a los científicos en particular, ubicarse a sí mismos dentro de una tradición de pensamiento, y comprobar en qué forma sus conceptos y sus estructuras conceptuales están condicionadas por la historia. Así, la perspectiva histórica los estimula a tener nuevas ideas y nuevas nociones. Mach reconoció que esta misma disposición puede desarrollarse a partir del estudio de los clásicos:

> La persona que ha leído y entendido a los autores griegos y romanos ha sentido y experimentado más que una que se ha limitado a las impresiones del presente. Puede ver cómo los hombres ubicados en circunstancias distintas se forman juicios muy diferentes a los nuestros. Así, sus propios juicios la volverán más independiente [Mach, 1886/1986, p. 347].

En su ensayo autobiográfico, Albert Einstein escribe, a favor de la visión de Mach, sobre el poder que tuvo la visión mecanicista del mundo sobre todos los científicos de su generación, incluidos Maxwell y Hertz. Dice que "fue Ernst Mach quien, en su *History of Mechanics* [La historia de la mécanica], sacudió esta fe dogmática; su libro ejerció sobre mí una profunda influencia a este respecto" (Schilpp, 1951, p. 21).

La importancia de contar con una perspectiva histórica para comprender cualquier tema por lo general se ha reconocido más ampliamente en el pensamiento continental que en los textos británicos o estadunidenses. Ludwik Fleck,[1] en un libro que fue fundamental para el desarrollo de la filosofía de la ciencia de Thomas Kuhn, describe brevemente su perspectiva: "No puede haber una comprensión ahistórica, es decir, una comprensión separada de la historia, del mismo modo que no puede existir un acto asocial de comprensión llevado a cabo por un investigador aislado" (Fleck, 1935/1979, en Sibum, 1988, p. 139).

Más recientemente, en las primeras páginas de *The Growth of Biological Thought* [El desarrollo del pensamiento biológico], Ernst Mayr les aconseja a los científicos que estudien historia en estos términos:

> Siento que el estudio de la historia de un campo es la mejor forma de adquirir una comprensión de sus conceptos. Sólo examinando el arduo trabajo que llevó a su descubrimiento —aprendiendo todos los supuestos erróneos previos que tuvieron que refutarse uno por uno—, puede pretenderse adquirir una comprensión verdaderamente sólida y profunda. En ciencia no se aprende sólo de los errores propios, sino de la historia de los errores ajenos [Mayr, 1982, p. 20].

El cambio conceptual en los individuos y en la ciencia

El segundo argumento consiste en que la perspectiva histórica no sólo le permite a los alumnos situar sus nociones y sus esquemas conceptuales en el contexto más amplio de los sistemas intelectuales y la historia de las ideas científicas, sino que la presentación histórica está basada en ciertos hechos psicológicos que tienen que ver con el desarrollo cognitivo individual. Ernst Mach era un defensor apasionado de este método genético. Este argumento sostiene que el desarrollo cognitivo individual refleja de algún modo el desarrollo cognitivo de la especie. Tal vez fue Hegel el primero en enunciar esta idea; Herbert Spencer lo siguió. En Inglaterra, J. C. Hogg, químico y autor de libros de texto, escribió, en su texto de 1930, que: "El desarrollo histórico es una aproximación lógica. El lento progreso de los primeros siglos se debía a una falta de conocimientos, a una pobreza de la técnica o a un embate poco metódico. Existe un vínculo de simpatía entre el principiante y el pionero" (Hogg, 1938, p. vii).

Cincuenta años después, James Wandersee (1985) sugirió algunas formas en las que conocer el desarrollo histórico de una disciplina puede ayudar a los maestros a anticipar y

comprender las dificultades de los alumnos contemporáneos para aprender los temas. La historia también puede proponer preguntas y experimentos que fomentan en los estudiantes un cambio conceptual adecuado. Se han publicado unos 3 000 estudios sobre las ideas equivocadas de los niños sobre ciencia; contamos con una cantidad abrumadora de datos sobre la resistencia a aprender mediante la enseñanza de las ciencias (Duit, 2009). Conocer el lento y difícil camino que hubo de recorrer el desarrollo histórico de ciencias particulares puede ayudar a los maestros a organizar el programa, a seleccionar experimentos y actividades, a planear preguntas y retos para el aula, a "reproducir" experimentos originales, y a invocar interpretaciones y debates históricos sobre los experimentos.

Se han hecho muchos estudios sobre el uso de la historia y los recursos históricos (artículos, experimentos, historias personales) en la enseñanza de la ciencia. El cuadro IV.1 enumera algunas investigaciones representativas.

CUADRO IV.1. *El uso de la historia de la ciencia en pedagogía: algunos estudios*

Tema	*Estudios*
Ciencia (en general)	Cohen (1950), Conant (1947), Finocchiaro (1980), Kindi (2005), Klopfer (1992), Kokkotas *et al.* (2011), Lennox y Kampourakis (2013), Stiner *et al.* (2003), Wandersee (1985)
Física (en general)	Brush (1969), Hong y Lin-Siegler (2012), Jung (1983), Seroglou y Koumaras (2001)
Óptica	Andreou y Raftopoulos (2011), Galili (2014), Galili y Hazan (2001), Kipnis (1992), Mihas y Andreadis (2005)
Oxígeno y combustión	Cartwright (2004), Pumfrey (1987)
Genética	Burian (2013), El-Hani *et al.* (2014), Jamieson y Radick (2013)
Electricidad	Binnie (2001), Leone (2014), Sibum (1988)
Química	Chamizo (2007), Chang (2010), Kauffman (1989), Padilla y Furio-Mas (2008)
Teoría cuántica	Garritz (2013), Greca y Friere (2014), Kragh (1992)
Evolución	Gauld (1992), Jensen y Finley (1995), Kampourakis (2013)
Matemáticas	Fauvel (1990), Gulikers y Blom (2001), Panagiotou (2011)
Termodinámica	Besson (2014), Cotignola *et al.* (2002), De Berg (2008)
Relatividad	Levrini (2014), Villani y Arruda (1998)
Mecánica	Besson (2013), Coelho (2007, 2009), Gauld (1998), Kalman (2009), Schecker (1992)

La historia de la ciencia tiene un valor intrínseco

Este tercer argumento no se ha presentado tanto como sería necesario. Habla bien de *Project 2061* que lo adelante y que enumere 10 episodios que todos los alumnos que han tenido una buena educación deberían conocer y ser capaces de apreciar:

> El énfasis está puesto en diez relatos de descubrimientos y cambios importantes que sirven como ejemplo de la evolución y el impacto del conocimiento científico: la Tierra planetaria, la gravitación universal, la relatividad, el tiempo geológico, la tectónica de placas, la conservación de la materia, la radioactividad y la fisión nuclear, la evolución de las especies, la naturaleza de las enfermedades, y la Revolución industrial [AAAS, 1989, p. 111].

Es fácil añadir otras: la genética y la herencia brillan por su ausencia, así como las relaciones entre la ciencia moderna y la Ilustración. Por desgracia, la mayor parte de los países permiten que los alumnos completen los cursos de historia sin saber nada sobre los más importantes logros científicos, matemáticos y técnicos que constituyen algunos de los episodios más importantes en el desarrollo de la civilización. Si se destinara tanto tiempo a enseñar la revolución científica como las revoluciones políticas, a Mendel y la genética como a los generales, al desarrollo del control del tiempo como al desarrollo de las constituciones, la educación general de la sociedad avanzaría considerablemente, puesto que la brecha entre las “dos culturas” que lamentó C. P. Snow se volvería menos evidente (Snow, 1963).

La historia es indispensable para entender la naturaleza de la ciencia

Project 2061 también defiende minuciosamente el cuarto argumento, que se discutió en el capítulo anterior. También se profundizó sobre el tema en la discusión previa sobre los vínculos entre la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia. Este libro respalda la opinión informada de que la filosofía de la ciencia historizada es necesaria para cumplir los propósitos educativos.

La historia humaniza a la ciencia como tema

Este quinto argumento se ha presentado como reacción al abuso generalizado de la ciencia y a las prácticas educativas autoritarias que a veces se asocian con una comprensión ingenua de la ciencia. Estudiar un poco de historia puede contrarrestar la repulsión hacia la ciencia y la tecnología que sienten muchos testigos de las guerras de alta tecnología, la caza de ballenas guiada por sonar, los ataques con napalm, etc. Las

vidas y las épocas de los grandes y no tan grandes científicos suelen estar llenas de incidentes y acontecimientos interesantes y atractivos que los alumnos pueden leer y representar. Esto puede ir contra la escuela "antiheroica" de la divulgación de la ciencia, pero el público vota con sus billeteras. No es accidental que algunas biografías de científicos hayan alcanzado las listas de "éxitos de ventas" y se publiquen en varios idiomas: Galileo (Heilbron, 2010), Newton (Westfall, 1980), Harrison (Sobel, 1994), Galton (Gilham, 2001), Darwin (Desmond y Moore, 1991), Planck (Heilbron, 1986), Einstein (Pais, 1982), Curie (Pflaum, 1989) y Bohr (Pais, 1991), por mencionar únicamente los más obvios.

El caso de Dava Sobel es un buen ejemplo. Los académicos han investigado a profundidad el "problema de la longitud" y han publicado artículos y libros que casi no se vendieron (Matthews, 2000b, p. cap. 7). Sobel, la periodista, asistió en Harvard a una conferencia sobre el tema y luego fue, hizo su trabajo y publicó un éxito de ventas internacional sobre el tema traducido a muchos idiomas (Sobel, 1994). Este libro le llevó la historia de la ciencia al público más amplio posible, y tanto los historiadores como los pedagogos tienen algunas lecciones que aprender de él sobre la divulgación de la ciencia (Gascoigne, 2007).

El empleo del teatro y las dramatizaciones, desde el nivel de enseñanza básica hasta los niveles más avanzados, ha tenido mucho éxito. Hay alumnos que tal vez no recuerden demasiado sobre la constante de Planck pero que, por el contrario, pueden recordar que, como director del Instituto del Kaiser Guillermo durante el Tercer Reich, Planck se enfrentó a los dolorosos "Dilemas de un hombre recto", para usar el subtítulo de la magistral biografía de John Heilbron (Heilbron, 1986). Los maestros de ciencia pueden trabajar con los maestros de historia y de teatro para representar algunas de las circunstancias y dilemas que enfrentó Planck y darle una expresión dramática a su resolución.

La historia es una forma de ponerle rostro a lo que de otro modo no es más que una terminología ajena. La ley de Boyle, la ley de Ohm, las leyes de Newton, la ley de Hooke, los descubrimientos de Curie, las bandas de Mach, la constante de Planck, unidades de medida como volts y ohms, etc. James Wandersee ha incorporado con éxito algunas viñetas históricas dentro de los programas de ciencia; estas viñetas pueden hacerse tan sofisticadas como lo permitan la clase y los recursos de que se disponga (Wandersee y Roach, 1998).

La historia favorece los vínculos entre planes de estudio

El sexto argumento, que la historia integra las ciencias con otras disciplinas, ha sido la columna vertebral de los enfoques liberales de la enseñanza de la ciencia. Percy Nunn,

James Conant, Gerald Holton y otros reconocieron la función integradora de la historia. Fue uno de los puntos centrales del reporte del Comité Harvard, *General Education in a Free Society* [La educación general en una sociedad libre, Conant, 1945), y un tema importante en el programa de física del Proyecto Harvard (Holton, 1978, 2003). La ciencia se ha desarrollado en conjunto con las matemáticas, la filosofía, la tecnología, la teología, el comercio, el arte y la literatura. A su vez, ha afectado todos estos campos. La historia permite que los programas de ciencia le revelen a sus alumnos un fragmento de este rico tapiz y los hagan apreciar lo interconectados que están los empeños humanos, tanto los intelectuales como los prácticos.

La física de Galileo dependía de la geometría euclidiana y de los análisis mecánicos de Arquímedes que acaban de ser traducidos (llevados a Italia por quienes escapaban de la invasión turca de Constantinopla). También dependía de avances tecnológicos, el más evidente de los cuales era el biselado de las lentes y el telescopio. Su filosofía le permitió, en un principio, entender los conceptos aristotélicos nucleares que limitaban la física de quienes lo rodeaban, y luego romper con esos conceptos. Sus posturas teológicas también le permitieron investigar libremente los cielos y experimentar con la caída de objetos. Incluso la música desempeñaba un papel, por ejemplo para cronometrar los cuerpos rodantes. Y, por supuesto, los patrocinios, el comercio y las comunicaciones contribuyeron a los éxitos de Galileo. A su vez, su nueva física matemática y experimental tuvo un efecto espectacular sobre la física, la filosofía, la tecnología, el comercio, las matemáticas y la teología que le siguieron.

El mismo patrón de influencias y efectos afortunados puede verse en los logros de Newton, Darwin y Einstein, por nombrar los más evidentes. Un enfoque histórico de la ciencia les permite a los estudiantes vincular el aprendizaje de temas científicos particulares con su aprendizaje de matemáticas, literatura, historia política, teología, geografía, filosofía, arte, etc. Cuando es posible apreciar la riqueza de la historia de la ciencia, puede fomentarse, con éxito, la colaboración entre los maestros de ciencia y los de otras asignaturas, y así presentárseles a los alumnos ejemplos atractivos.[2]

Como subrayó Leo Klopfer, en Estados Unidos: “Las propuestas para entramar la historia y la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de la ciencia, en escuelas y universidades, tienen una historia de más de 60 años” (Klopfer, 1992, p. 105).[3] En la década de 1920, algunos químicos, siguiendo el ejemplo de Holmyard en el Reino Unido, abogaron por que se empleara un enfoque histórico en la enseñanza de la ciencia y escribieron varios textos de orientación histórica.[4]

Tras la segunda Guerra Mundial, cobró fuerza el enfoque generalista o contextualista de la enseñanza de la ciencia. La influencia dominante en este caso fue la del presidente de la Universidad de Harvard, James B. Conant, cuya aproximación a la enseñanza de la ciencia mediante estudios de caso se adoptó ampliamente. Conant desarrolló su enfoque mientras estuvo a cargo del nivel de licenciatura general en Harvard, y lo popularizó mediante un reporte gubernamental que se distribuyó ampliamente, *General Education in a Free Society* (Conant, 1945) y libros que se convirtieron en éxitos de venta (Conant, 1947, 1951). Su *Harvard Case Histories in Experimental Science* [Historias de caso de Harvard para la ciencia experimental, Conant, 1948] se convirtió en un popular libro de texto universitario. El reporte *General Education* propuso que:

> La enseñanza de la ciencia dentro de la educación general debería caracterizarse primordialmente por sus amplios elementos integradores: la comparación entre los modos de pensamiento científicos y no científicos, la comparación y el contraste de las ciencias particulares entre sí, la relación de la ciencia con su propio pasado y con la historia humana en general, y de la ciencia con los problemas de la sociedad humana [Conant, 1945, p. 155].

Más adelante, identifica algunos rasgos cruciales de la ciencia —su abstracción y su dependencia de la tradición— que provocan que sea difícil aprenderla y, como apuntó Mach, afirma que la historia puede hacerlas más inteligibles:

> Los hechos de la ciencia y la experiencia del laboratorio ya no son suficientes por sí mismos; ya no representan elementos sencillos, espontáneos y prácticos que se relacionan directamente con la vida cotidiana del alumno. Conforme se alejan más y más de su experiencia y se vuelven más sutiles, más abstractos, los hechos deben comenzar a aprenderse en otro contexto, cultural, histórico y filosófico. Sólo una perspectiva así de amplia puede otorgarle un valor perdurable a la información científica y a la experiencia del alumno general [Conant, 1945, p. 155].

No puede exagerarse la influencia que tuvo Conant (Hershberg, 1993). En el Prefacio a su primer libro, *The Copernican Revolution* [La revolución copernicana], que surgió a partir de sus conferencias en el Programa de Educación General de Harvard, Thomas Kuhn dice que:

> Trabajar con él [Conant] me persuadió por primera vez de que el estudio de la historia de la ciencia podía

> proporcionar un nuevo tipo de comprensión sobre la estructura y la función de la investigación científica. Sin mi propia revolución copernicana, de la cual él fue padre, ni este libro ni mis otros ensayos sobre la historia de la ciencia se habrían escrito jamás [Kuhn, 1957, p. XI].

Para bien o para mal, la transformación personal de Kuhn provocó una gigantesca transformación en la historia, la filosofía y la sociología profesionales de la ciencia, y de hecho también en muchos otros campos académicos. Durante los últimos 50 años, la idea de paradigma —ambigua y con frecuencia mal entendida—, y la epistemología relativista y la ontología idealista relacionadas con el concepto han sido un tiro al aire en el entorno académico.[5]

Gerald Holton confiesa tener una deuda parecida. Más adelante, Holton fue una pieza fundamental para desarrollar, a principios de la década de 1960 —y con Stephen Brush, Fletcher Watson, James Rutherford y otros—, el curso de física del Proyecto Harvard para las escuelas secundarias. Holton elaboró muchas defensas sólidas del enfoque liberal de la enseñanza de la ciencia (Holton, 1975, 1978) y escribió un libro de texto de física universitaria que encarnaba los temas históricos y filosóficos (Holton, 1952).

I. Bernard Cohen, por entonces un joven graduado de física, trabajó con Conant en las conferencias que Yale lo invitó a dictar, más tarde publicadas como *On Understanding Science: An Historical Approach* [Sobre la comprensión de la ciencia: Un enfoque histórico, Conant, 1947]. Este libro, muy popular, argumentaba entre otras cosas que la historia de la ciencia era indispensable para la comprensión de la ciencia. Más tarde, Cohen trabajó con el Comité Harvard de Conant que publicó el reporte de 1945 antes mencionado, el famoso "libro rojo". Por añadidura, en 1950 Cohen escribió un importante ensayo sobre la historia de la enseñanza de la ciencia.[6] Tras la guerra, Conant organizó una serie de conferencias dictadas por maestros de química y física, así como por historiadores de la ciencia. Uno de los frutos de estas conferencias fue la colección *Science in General Education* [La ciencia en la educación general, McGrath, 1948].

El éxito que tuvieron los estudios de caso de Conant en los cursos universitarios de Harvard y el ejemplo del curso de ciencias basado en textos históricos que impartió Joseph Schwab en la Universidad de Chicago (Schwab, 1950) llevó a Leo Klopfer, por entonces en la Universidad de Chicago, a emular el enfoque en la enseñanza de ciencia en secundaria. Justificó esta decisión en artículos escritos en colaboración con Fletcher Watson, que más tarde trabajaría en el Proyecto de Física de Harvard (Klopfer y Watson, 1957). Una de las principales inquietudes de estos autores era mejorar la forma en la que los alumnos comprendían la actividad científica y sus interacciones con la sociedad. Se sentían inquietos por la falta de comprensión de los alumnos de lo que brevemente podría llamarse "alfabetismo científico", un término que dieron a conocer Hurd (1958) y Fitzpatrick (1960). Ellos entendieron los estudios históricos como una

herramienta para expandir y enriquecer la comprensión de la ciencia por parte de los alumnos. Klopfer dijo más adelante que el alfabetismo científico incluye cinco componentes:

- conocimientos de los hechos, conceptos, principios y teorías fundamentales de la ciencia;
- la capacidad de aplicar conocimientos científicos relevantes en situaciones cotidianas;
- una comprensión de ideas generales sobre la organización de las actividades científicas, las interacciones importantes entre la ciencia, la tecnología y la sociedad y las características de los científicos;
- la capacidad para usar los procesos de investigación científica y la comprensión de la naturaleza de la investigación científica;
- la posesión de actitudes informadas e intereses relacionados con la ciencia (Klopfer, 1990, p. 3).

Klopfer y Watson elaboraron un curso de History of Science Cases for Schools (HOSC) (Klopfer, 1969b).[7] Cada uno de los ocho casos que lo conformaban se presentaba en una separata que contenía la narración histórica, citas de los artículos originales de los científicos, experimentos y ejercicios adecuados para los alumnos, notas y preguntas al margen, así como espacio para que los alumnos escribieran sus respuestas. También se produjeron guías para maestros y materiales complementarios. La versión experimental se probó y evaluó en 108 clases, con resultados favorables:

> El método [de la historia de casos de ciencia para las escuelas] definitivamente resulta efectivo para mejorar la comprensión de los alumnos sobre la ciencia y los científicos cuando se usa en clases de biología, química y física de secundaria […] por añadidura […] logran estas mejoras significativas en la comprensión de la ciencia y los científicos con una pérdida pequeña o nula de logros en los contenidos tradicionales de los cursos de ciencia de secundaria [Klopfer y Cooley, 1963, p. 46].

Tras este buen resultado, los estudios de caso se produjeron en forma individual a lo largo de varios años y fueron publicados por la Science Research Associates en Chicago (Klopfer, 1964-1966); también Wadsworth, en San Francisco, publicó una versión (Klopfer, 1969b). A pesar de su éxito inicial, parecen haber sido una de esas redes que, como dijo Klopfer, "rara vez duran mucho tiempo y dejan pocos rastros en el panorama de la enseñanza de la ciencia".

El programa liberal o generalista fue apoyado por la National Society for the Study of Education (NSSE) en su Anuario número 59, donde se advirtió que: "Los alumnos deberían aprender algo sobre la naturaleza del conocimiento científicos, cómo se ha desarrollado y cómo se emplea. Deben comprobar que el conocimiento tiene una calidad dinámica y que es probable que cambie en contenido y en estatus a lo largo del tiempo"

(NSSE, 1960).

Sin embargo, al tiempo que se escribía el Anuario, los tiempos curriculares y sociales se transformaban. La National Science Foundation se fundó en 1950 y otorgó su primera subvención para el desarrollo de un programa de ciencia para secundaria en 1956, que recibió el PSSC del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), cuyo primer borrador se publicó al mismo tiempo que se lanzaba el *Sputnik* soviético. Le siguieron en rápida sucesión el aluvión de proyectos curriculares patrocinados por la National Science Foundation que discutimos antes y en los que se ignoraron los aspectos históricos, tecnológicos y culturales. El énfasis estaba puesto sobre el dominio del contenido científico en su forma más teórica. La National Science Foundation tenía un enfoque de la ciencia escolar profesional, técnico o disciplinario, en contraste con el enfoque generalista, humanista o contextual recomendado en el anuario de 1960 de la National Society for the Study of Education. El credo de la National Science Foundation se encuentra asentado en *Policies for Science Education* [Políticas para la enseñanza de la ciencia], que preparó en 1960 el proyecto Science Manpower en el Teachers College de la Universidad de Columbia:

> Permítasenos hacer notar que [la educación] es el factor básico del que depende tener fuerza de trabajo científica adecuada. Debemos mejorar los programas de enseñanza de la ciencia en las escuelas [...] Entonces, y sólo entonces, aseguraremos un flujo de nuevos científicos y personal tecnológico adecuado para satisfacer las necesidades presentes y previstas de nuestra cultura [Fitzpatrick, 1960, p. 195].

Las reformas a los planes de estudio de ciencias de principios de la década de 1960 se llevaron a cabo sin la participación de historiadores o filósofos de la ciencia. Hubo dos excepciones notables: el curso de física del Proyecto Harvard y la versión amarilla del texto de bilogía del Biological Sciences Curriculum Study (BSCS). Los estudios de caso para secundaria de Klopfer y Cooley, desarrollados entre 1956 y 1960, fueron menos importantes.

El texto del BSCS estaba inspirado por las ideas del biólogo-filósofo-pedagogo de la Universidad de Chicago J. J. Schwab, de quien hablamos antes. Schwab escribió un importante ensayo, "The nature of scientific knowledge as related to liberal education" [La naturaleza del conocimiento científico y su relación con la educación liberal, Schwab, 1949], y promovió enérgicamente la idea deweyana de la "ciencia como indagación".[8] Schwab escribió la guía para el maestro del plan del BSCS, en la cual defendió el enfoque histórico en estos términos: "la esencia de la enseñanza de la ciencia como investigación sería mostrar algunas de las conclusiones a las que ha llegado la ciencia en el contexto de la forma en la que surgieron y se pusieron a prueba [...] también incluiría un tratamiento justo de las dudas y las imperfecciones de la ciencia" (Schwab, 1963, p. 41).

Esta defensa de la historia se hace también puesto que "se ocupa del hombre y de los acontecimientos, en vez de los conceptos mismos. La investigación tiene un lado

humano” (Schwab, 1963, p. 42).

En Gran Bretaña existe una tradición larga, aunque irregular, de incorporar la historia de la ciencia en la enseñanza de la ciencia.[9] La British Association for the Advancement of Science, en su conferencia de 1917, hizo eco al llamado que lanzó el duque de Argyll en su conferencia de 1855. La asociación dijo que la historia de la ciencia "proporcionaba un solvente para la barrera artificial entre los estudios literarios y la ciencia que erigen los programas escolares" (Jenkins, 1990, p. 274). El influyente reporte gubernamental de 1918 (*Natural Science in Education* [Las ciencias naturales en la educación], conocido como el Reporte Thompson en honor de su director, J. J. Thompson) también vio que la historia tiene un papel creativo: "Resulta deseable […] introducir en la enseñanza alguna descripción de los principales logros de la ciencia y de los métodos mediante los cuales se obtuvieron. Debería incluirse más del espíritu y menos del valle lleno de huesos resecos […] Una forma de hacer esto es mediante lecciones de historia de la ciencia" (Brock, 1989, p. 31).

El reporte añade que: "parte del equipamiento intelectual de todos los maestros de ciencia de secundaria debería consistir en algunos conocimientos sobre la historia y la filosofía de la ciencia". Estas recomendaciones se incluyeron en el plan de estudios Ciencia para Todos que se desarrolló en los primeros años de la posguerra (Mansell, 1976).

Percy Nunn, el filósofo de la ciencia, Richard Gregory y otros pedagogos con orientación histórica defendieron la causa de la historia en los años de entreguerras. Estaban influidos por la idea hegeliana, spenceriana y herbartiana de que el desarrollo del pensamiento individual recapitula, en cierto sentido, el desarrollo histórico del pensamiento humano, una idea que se popularizó más tarde con la epistemología genética de Piaget (Kitchener, 1986). E. J. Holmyard (1924, 1925), J. A. Cochrane y J. R. Partington escribieron algunos libros de texto muy populares que incorporaban estas ideas. La *Elementary Chemistry* [Química elemental] de Holmyard (Holmyard, 1925) vendió cerca de medio millón de ejemplares entre 1925 y 1960.

La revista británica *School Science Review* acogió bien la creación de las primeras revistas profesionales sobre historia de la ciencia, *Annals of Science* (1936) y *Ambix* (1937), con el comentario de que los maestros "sabían por experiencia el valor que tienen los detalles históricos para despertar y mantener el interés y para enfrentar las críticas de quienes sostienen que la ciencia es inhumana […] [la revista] debería encontrarse en todas las bibliotecas escolares" (Sherratt, 1983, p. 421).

En las décadas de 1920 y 1930, se ofrecieron cursos especiales de historia de la ciencia a los maestros de ciencia en las escuelas normales y, a partir de 1921, en el University College de Londres se ofreció una maestría sobre el tema.

Tras la segunda Guerra Mundial, la importancia de la historia disminuyó gradualmente. Conformó una parte pequeña del curso nivel-O de Nuffield, pero por lo general los cursos experienciales de Nuffield ignoraron las dimensiones históricas, sociales y culturales de la ciencia. Diversos jurados examinadores mantuvieron cursos independientes de historia de la ciencia, pero para la década de 1980 la cantidad de candidatos que se presentaban había menguado dramáticamente. Antes de incluirse en el plan nacional de estudios, la historia de la ciencia encontró acomodo en ciertas partes de los programas Nuffield y los cursos SISCON y SATIS que se implementaron a principios de la década de 1980.

Esta merma en la dimensión contextual de la ciencia escolar preocupaba a la Association for Science Education (ASE), que en diversos reportes instó a que se incorporaran más materiales históricos y filosóficos en el plan de estudios de ciencias (ASE, 1979, 1981).[10] Sus *Alternatives for Science Education* [Alternativas para la enseñanza de la ciencia] de 1979 cartografían tres aproximaciones a la enseñanza de la ciencia, todas las cuales hacen énfasis en la historia y filosofía de la ciencia. Su reporte de 1981 recomendó:

> Enseñar la ciencia como una actividad cultural: la búsqueda generalizada de la cultura y el conocimiento científicos que tome en cuenta la historia, la filosofía y las implicaciones sociales de las actividades científicas, y que por lo tanto lleve a comprender las contribuciones de la ciencia y la tecnología a la sociedad y al mundo de las ideas [ASE, 1981].

Como parte de un tema recurrente en todos los esfuerzos similares alrededor del mundo, la ASE, a partir incluso de su reporte de 1963, *Training of Graduate Science Teachers* [La formación de maestros de ciencia, ASE, 1963), reconoció que los maestros no estaban adecuadamente preparados para enseñar esta ciencia contextual. Entonces, como ahora, debían hacerse esfuerzos específicos para incorporar la historia y filosofía de la ciencia en los programas de formación y de capacitación continua de los maestros.

La mejor forma de apreciar los contrastes entre el enfoque profesional y el contextual para la enseñanza de la ciencia es analizar las distintas formas de enseñar ciertos temas usando los dos enfoques u orientaciones. La presión atmosférica, un tema central en la mayor parte de los cursos de ciencia de nivel básico y secundario, es un buen ejemplo, pero pueden elegirse otros.

Enfoque histórico-humanista

En los programas de ciencia han existido buenos tratamientos históricos del tema de la presión atmosférica. La presión atmosférica y la bomba de vacío de Boyle fueron el tema del primer estudio de caso de Harvard de Conant, en 1957. Una de las tres unidades de física en los nueve estudios de caso de Klopfer (Klopfer, 1969b) versa sobre la presión atmosférica (caso 6). La unidad comprende un conjunto de textos, citas, actividades, diapositivas, equipos y experimentos. El estudio de caso combina la historia del derrocamiento, en el siglo XVII, de la vieja doctrina aristotélica que sostenía que la naturaleza aborrece el vacío mediante la aplicación de principios hidrostáticos para explicar los fenómenos asociados con la presión atmosférica. El trabajo pionero de Torricelli con el barómetro incluía la idea de que la columna de mercurio que se elevaba a una altura de unos 76 centímetros sobre el nivel del mercurio en un plato estaba equilibrada por el peso del "mar de aire" que presionaba la superficie del mercurio (Klopfer y Cooley, 1961, p. 10).

El caso 6 contiene material sobre la explicación —incorrecta— que daba Galileo al hecho de que la bomba de aire comprimido sólo pudiera sostener el agua hasta 10 metros; su idea era que si subía aún más la columna se rompería bajo su propio peso. El caso les pide a los alumnos que sostengan un tramo de chicle masticado para comprobar cuál es su longitud crítica (aquella en la que no se rompe) y les pregunta si, por analogía, es posible que ocurra algo similar en una larga columna de agua. El caso también incluye material sobre la ley de Pascal y recomienda construir una sencilla prensa hidráulica para ejemplificar estos principios. Entre otros beneficios, el caso permite a los alumnos entender que grandes científicos, como Galileo, se equivocaban a veces e insistían en creer cosas erróneas. Esto resulta aún más evidente en el compromiso de Galileo con una explicación totalmente falsa de las mareas, un tema del que se ocupó en el último día de sus *Diálogos* de 1632 y que creía que proporcionaba la mejor defensa de la visión copernicana del mundo.[11] La historia demuestra la falibilidad de la ciencia y los científicos, así como sus triunfos, algo que es útil que los alumnos aprendan.

Cada uno de los estudios de caso de Klopfer se fija objetivos que entran en una de

tres categorías:

1) Información sobre el tema científico a discutir y una narración del caso;
2) comprensión de los conceptos y principios científicos;
3) comprensión de ideas relativas a la ciencia y los científicos.

Los objetivos que enumera en la categoría 3 para la unidad sobre presión atmosférica son reveladores. Dice que tras estudiar la unidad los alumnos deberían entender las siguientes ideas relativas a la ciencia y los científicos:

- los significados y funciones de la hipótesis, los principios y teorías científicas y sus interconexiones;
- la diferencia entre ciencia, ciencia aplicada y tecnología;
- la interacción dinámica entre las ideas y los experimentos, entre pensar y hacer, en el trabajo científico;
- que una cadena de razonamiento, que con frecuencia involucra muchos supuestos, vincula una teoría con distintas hipótesis que pueden ser verificadas mediante experimentos y observaciones;
- que los factores involucrados en el establecimiento de una teoría o concepto científicos incluyen evidencia experimental, las convicciones personales de los científicos que participan y la utilidad de la teoría;
- que las explicaciones científicas de los fenómenos naturales se dan en términos de leyes y principios aceptados;
- que los científicos son individuos que poseen una amplia gama de características y habilidades personales;
- que la ciencia es una actividad internacional;
- la naturaleza y las funciones de las sociedades científicas;
- que el progreso en ciencia depende, en parte, del estado actual de la tecnología y de otros factores externos a la ciencia misma;
- que la comunicación libre entre científicos mediante revistas, libros, encuentros y correspondencia personal es esencial para el desarrollo de la ciencia;
- que las nuevas observaciones tienen un efecto multiplicador: reorganizan los conceptos establecidos y conducen a nuevas hipótesis y experimentos;
- que los aparatos y las técnicas nuevas son importantes porque permiten hacer nuevos experimentos y explorar nuevas ideas.

Esta lista bien podría servir como la declaración de objetivos de cualquier curso de historia y filosofía de la ciencia; también se sentiría en casa en cualquier programa de "estudios de la ciencia". Resulta interesante que esta caracterización de la ciencia, tan sofisticada y matizada, se escribiera en 1961, es decir, antes de la publicación de *La estructura de las revoluciones científicas* de Thomas Kuhn, que le dio una gran

visibilidad a estas opiniones. Estas tres personas están en deuda con Conant y con su compromiso con el programa de Educación General de Harvard.

Los materiales de History of Science Cases for Schools (HOSC) buscaban proporcionar tanto una educación sobre ciencia como una educación en ciencia, y con resultados del tipo que suele llamarse "intangible". De los 47 maestros que participaron en una revisión de los materiales de HOSC, 64% dijeron que sus alumnos obtuvieron beneficios intangibles que no medían los exámenes. Algunos maestros comentaron lo siguiente:

- Los alumnos adquirieron formas nuevas de entender la ciencia.
- La discusión y las opiniones de los integrantes de la clase desempeñaron un papel más importante de lo normal […] se les alentó a hacer una evaluación crítica de la ciencia y los científicos en nuestra sociedad.
- Los alumnos experimentaron la sensación de formar parte de una gran aventura (Klopfer y Cooley, 1961, p. 128).

Estos intangibles que no se miden son tan importantes como los resultados de los exámenes calificatorios estandarizados, en parte porque con frecuencia duran mucho más y sirven como guía para relacionarse con la ciencia más adelante.

La presión atmosférica es el tema perfecto para integrar la historia de la ciencia a la enseñanza de la ciencia, pues hay una progresión y un paralelismo naturales entre el desarrollo de ideas y las investigaciones de los alumnos y la sucesión de hechos históricos. Treinta años después del estudio de caso de Klopfer, en el Reino Unido Joan Solomon, que también quería incorporar los temas históricos y sociales en la enseñanza de la ciencia, escribió un folleto sobre el tema, titulado *The Big Squeeze* [El gran apretón] para la Association for Science Education británica (Solomon, 1989). Allí defiende la noción de que puede comprenderse el tema de la presión del aire haciendo un recorrido por los egipcios y griegos antiguos, las bombas medievales y las gaitas; las ideas de Galileo; el famoso experimento de Torricelli con un tubo de agua para crear un vacío, y las diversas interpretaciones que se propusieron para explicar el "espacio" sobre la columna de agua; el barómetro de mercurio de Torricelli; el experimento de Pascal de subir una montaña con un barómetro y registrar los cambios en la altura del mercurio y sugerir, así, que la presión atmosférica es el resultado del peso del aire sobre el mercurio; los hemisferios de Magdeburgo de Von Guericke, y, finalmente, la bomba de vacío de Boyle y sus especulaciones sobre la "elasticidad del aire".

Si se hace correctamente, es fácil conducir a los alumnos por esta secuencia de conceptos y experimentos. En Börje Ekstig (1990) puede verse una linda secuencia de lecciones de este tipo. Un alumno de segundo año de la Universidad de Nuevo Gales del Sur que estudiaba para convertirse en maestro de secundaria escribió lo que sigue tras

leer el artículo de Ekstig:

> Soy un alumno que no estudió física para el certificado de educación secundaria y sólo tomó medio año de física en la universidad, que abandonó tras reprobar el examen de mitad de periodo. Me he escuchado a mí mismo decir, muchas veces, que la física me desagrada inmensamente y que no la entiendo. Tras leer este artículo me pregunto por qué tengo una actitud tan negativa. En realidad nunca le he dado mucha oportunidad al tema, pero por otro lado jamás escuché o leí que se presentara de forma tan interesante o relevante [...] Lo que me maravilló fue que pude entender [...] Porque mi exposición a la física solía dejarme confundido, y convencido de que estaba más allá de mis capacidades [comunicación privada con el autor].

Es un agradable testimonio del valor pedagógico de la historia en los cursos de ciencia de nivel profesional. Armados con conocimientos sobre la historia de la ciencia de la presión atmosférica, los alumnos pueden ocuparse de los siguientes problemas o investigaciones:

- Primero, los alumnos pueden hacer conjeturas sobre si el aire está conformado por algo o si se trata esencialmente de espacio vacío. Tras pensar en algunas formas de probar sus conjeturas, puede demostrárseles que el aire es difícil de comprimir: un tubo de ensayo vacío que se introduce en agua lo revela. Si el mismo tubo de ensayo se llena con agua y se extrae del recipiente, vemos lo que sucede en un barómetro.
- En segundo lugar, puede preguntársele a los alumnos si habría un límite a la longitud de la columna de agua que puede cargar el tubo de ensayo, y por qué esta columna se mantiene en su lugar. Si se sostiene una manguera de jardín transparente en un extremo, se coloca el otro en una cubeta de agua y se cuelga de un edificio, se obtiene la respuesta.
- En tercer lugar, los alumnos pueden tratar de determinar si un líquido más pesado produciría una columna de agua menos alta, y qué altura predecirían para la columna de mercurio.
- En cuarto lugar, puede crearse un vacío en un cilindro, introducir un pistón en el tubo y demostrar así los fundamentos de la máquina de vapor de Newcomen.

Con un uso juicioso de las tareas, los experimentos y las pruebas pueden cumplirse muchos de los objetivos de la unidad sobre presión atmosférica del HOSC, y los objetivos más generales de un programa de ciencia contextual. Es posible comprobar de forma muy hermosa la interrelación entre la ciencia y la filosofía, por un lado, y la tecnología por el otro: puede apreciarse la doctrina aristotélica que dice que la naturaleza “aborrece el vacío”; pueden esbozarse los esfuerzos por apoyar esta doctrina filosófica y científica a la luz de las demostraciones de Pascal y Torricelli de su aparente falsedad, y, al pedirle a los alumnos que construyan sus propias máquinas de vapor primitivas (versiones de la máquina de vacío inducido por el frío de Newcomen), o simples pistones y cilindros, es fácil apreciar las dificultades técnicas para lograr adelantos en la ciencia de la presión

atmosférica.

Enfoque profesional-disciplinario

Para conocer un enfoque profesional estándar del tema de la presión atmosférica, puede consultarse el texto *Physics* [Física], del Physical Science Study Committee (PSSC, 1960), el primer programa de ciencia de secundaria patrocinado por la National Science Foundation; se publicó en varios idiomas y ha sido usado por alumnos de todo el mundo. El PSSC contrasta notablemente con el tratamiento histórico antes descrito y que se encuentra en los estudios de caso de Harvard, el HOSC, Project Physics y en diversos materiales británicos. Es de destacarse que, en los 34 capítulos que conforman el texto, ninguno esté dedicado a la presión atmosférica y el tema no se mencione en el índice, de aproximadamente 1 000 entradas. Puesto que no se habla de presión atmosférica, la aproximación al tema comienza con la ley de Boyle y un modelo de moléculas que chocan dentro de una cámara. La discusión de esta ley asume que existe la presión atmosférica, pero se ignoran todos los avances de Boyle. No se mencionan a Torricelli o a Pascal, y mucho menos a Aristóteles y la doctrina del *horror vacui* que se menciona antes. La ley de Boyle se explica mediante el concepto mol, y se formula así:

> A cierta temperatura, la presión que ejerce un gas es proporcional al número de moléculas dividido entre el volumen que ocupan.

P = K × N/ V, donde K es el factor de proporcionalidad

Resulta notable que de la discusión del Physical Science Study Committee (PSSC) esté ausente cualquier mención sobre la tecnología o las aplicaciones de la ciencia de la presión atmosférica. Si bien se discute el cambio esperado en la relación *P-V* en atmósferas rarificadas, en el capítulo no se menciona el barómetro; este instrumento está relegado a los ejercicios, al final del capítulo. En el programa de física del PSSC los niños pueden estudiar las leyes de los gases sin que se mencionen o expliquen los barómetros y los cambios atmosféricos. Asimismo, se omiten las bombas de agua, las máquinas de vapor y todos los demás usos tecnológicos de la presión del aire. Los vínculos trascendentales entre la ciencia y la tecnología y sus dramáticos efectos sobre la transformación de la vida económica y social se omiten por completo de la física del PSSC. Y no sólo del PSSC; muchos de los proyectos de reforma de principios de la década de 1960 eliminaron de sus programas los aspectos aplicados de la ciencia. Un crítico de las reformas de esta década ha dicho: “Los primeros cambios importantes en la reforma curricular respaldada por el NSF en la década de 1960 consistieron en eliminar toda la

tecnología y en presentar la ciencia pura ‘de la forma en que la conocen los científicos’. Apenas están admitiendo las falacias de ese proyecto” (Yager y Penick, 1987, p. 53).

Cuánto le interesa a un maestro la historia determinará cuánto aprenden sus alumnos a partir de la discusión y la reconstrucción de la secuencia histórica que llevó a la comprensión contemporánea de la presión atmosférica.

Aristóteles sobre el aire

Aristóteles fue uno de los primeros en contribuir a las investigaciones científico-filosóficas sobre el aire. Lo consideraba uno de los cinco elementos fundamentales; el aire era de una sola clase y no una mezcla de distintos componentes. Éste fue uno de los grandes "obstáculos epistemológicos"[12] que debieron superar Joseph Priestley y los primeros químicos neumáticos del siglo XVII, cuyas investigaciones los llevaron a concluir que el aire era un compuesto formado por gases (un tema que trataremos en detalle en el capítulo VII). Resulta importante notar que Aristóteles negó, por razones filosóficas y empíricas, que pudiera existir el vacío en la naturaleza. Sostuvo sus argumentos para el *horror vacui* contra los de los atomistas, para quienes la existencia de un vacío entre los átomos era filosóficamente fundamental. Los principales argumentos de Aristóteles contra la posibilidad del vacío se encuentran en su *Física,* libro IV (reproducido en Matthews, 1989). El historiador Ernest Moody afirma sobre este texto que:

> Fue, en un sentido muy definitivo, la cuna de la mecánica medieval. Y para Galileo […] este texto fue un constante punto de partida. No sólo en sus diálogos pisanos, sino en el gran *Discorsi* de madurez, es como una crítica de este texto aristotélico que desarrolló su teoría dinámica del movimiento de los cuerpos pesados [Moody, 1951, p. 175].

Aristóteles argumentaba, de manera razonable si se toma en cuenta la experiencia cotidiana, que la velocidad (V) de un cuerpo en movimiento varía en relación directa con la fuerza aplicada (F) e inversa con la resistencia del medio (R) a través del cual se mueve. (Piense que empuja un automóvil por una carretera plana y luego por la arena.) Es decir:

$$V = K \times F / R$$

En un vacío, R sería cero, y una vez que un cuerpo se empujara se movería a una velocidad infinita. Así, el tiempo que tarda en moverse entre dos puntos, A y B, sería de cero segundos, y por lo tanto no podría decirse que se mueve sino que se disuelve en A y se rematerializa en forma instantánea en B. Así, la conclusión de Aristóteles era que no podía haber movimiento en el vacío. Sin embargo, como puede verse movimiento en

todas partes el vacío es imposible. Esta convicción básica de que no pueden existir vacíos en la naturaleza dominó y limitó la física durante mil años, y Galileo tuvo que vérselas con ella al comienzo de sus investigaciones científico-filosóficas.

Una lección duradera de reflexionar sobre las primeras especulaciones griegas sobre la presión atmosférica es la forma en que la ciencia y la filosofía aristotélicas están arraigadas en la experiencia del mundo cotidiano. Mortimer J. Adler, un aristotélico moderno, lo reconoció al observar, en su introducción a *Aristotle for Everybody* [Aristóteles para todos] que:

> En su esfuerzo por entender la naturaleza, la sociedad y al hombre, Aristóteles comenzó donde todos deberíamos hacerlo: con lo que ya sabía a la luz de las experiencias normales, ordinarias. Así, comenzó con conceptos que todos poseemos, no porque nos los enseñaron en la escuela sino porque son la estirpe común del pensamiento humano sobre todo y todos [Adler, 1978, p. XI].

El mundo antiguo estaba familiarizado con todos los fenómenos que los alumnos de clases introductorias pueden ver y experimentar. El sifón se usaba para drenar fluidos; la pipeta o clepsidra se usaba para transferir fluidos, y por supuesto también se usaban los popotes. Era muy fácil concluir, a partir de todas estas experiencias familiares, que la naturaleza aborrece el vacío. Aristóteles apeló a esta experiencia común y le sumó ciertos argumentos lógicos sobre el movimiento y el lugar; el resultado fue la poderosa y duradera doctrina del *horror vacui*.

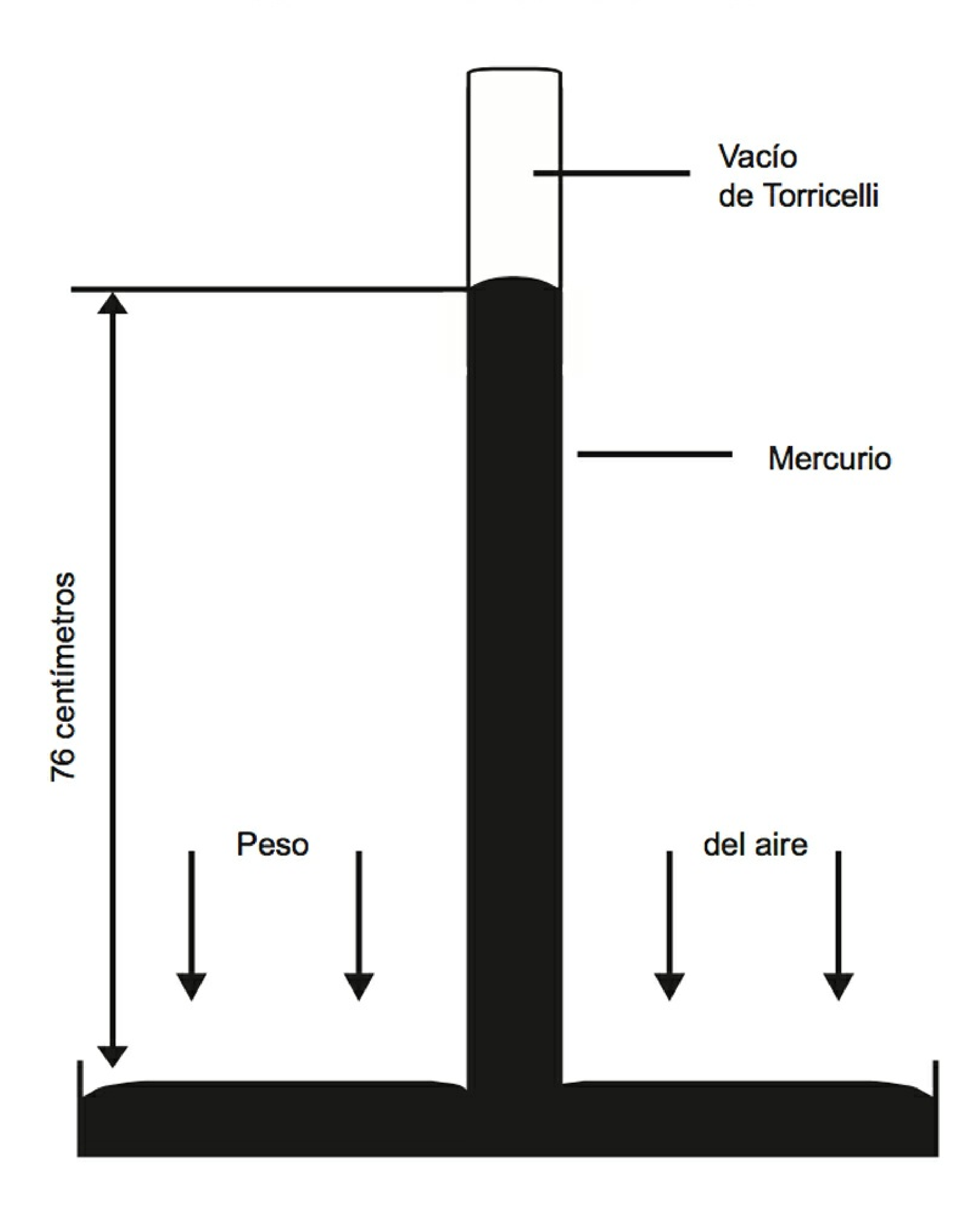
Al discutir otro aspecto del mismo problema —¿tiene peso el aire?—, se empleó una ruta mental parecida. Mediante la observación de los molinos, las velas, los globos fabricados a partir de vejigas animales, etc., los antiguos concluyeron que el espacio contenía algo, es decir, aire; no estaba vacío. Y sin embargo no parecía pesar nada; de hecho, parecía tener un peso negativo; no presionaba hacia abajo sino que parecía subir. Aristóteles sostuvo que las cosas en su lugar adecuado no tienen peso, o *gravitas* (como dirían los hablantes de latín). Las piedras y la materia tenían *gravitas* porque trataban de hundirse hacia el centro de la Tierra, su hogar natural; el aire no tenía *gravitas,* pero en contraste tenía *levitas* por su tendencia a subir hacia el cielo, su lugar natural. Así, la afirmación de que el aire tenía peso, en el mismo sentido de que las piedras tenían peso, invalidaría un pilar de la filosofía aristotélica.

Este mismo paso desde la experiencia cotidiana hacia las doctrinas científicas y filosóficas puede verse en las teorías aristotélicas del movimiento, la astronomía, la biología y muchas más. Si los alumnos son capaces de apreciar este tránsito, se encuentran en una mejor posición para entender los rasgos más importantes de la revolución galileana y newtoniana: la reinterpretación de las experiencias y las certidumbres cotidianas para formular nuevas ciencias; el paso de la explicación aristotélica de lo desconocido en términos de lo conocido a la explicación de Newton de lo familiar (los cuerpos que caen) en términos de lo familiar (la inercia).

Al menos a partir de 1614, Galileo estaba seguro de que había demostrado experimentalmente que, en contradicción con Aristóteles, el aire tenía peso (Drake, 1978, p. 231). Siguió pensando que el peso del aire no tenía nada que ver con la altura límite a la que llegaba el agua en los sifones (Drake, 1978, p. 314). Su socio y alumno, Evangelista Torricelli (1608-1647) dio los primeros pasos para comprender correctamente la presión atmosférica y su explicación al interpretar los barómetros.

El experimento de Toriccelli de 1643 (que repitió en Francia en 1646 el niño prodigio Blaise Pascal [1623-1662]) empleó un tubo de mercurio cerrado e invertido situado en un plato abierto con mercurio.[13] El mercurio cayó a cierta distancia del extremo superior del tubo, pero siempre se mantuvo a unos 76 cm sobre el nivel del mercurio en el plato (véase la figura IV.1). Esta demostración unificó la mente de los filósofos y los científicos (por usar una distinción anacrónica): la vieja disputa filosófica sobre el vacío parecía haberse resuelto con un sencillo experimento. Este mismo experimento puede cautivar la mente de los alumnos modernos.

Figura iv.1. *Tubo de vacío de Torricelli*



Puede mostrárseles a los alumnos el aparto de Torricelli o bien, en laboratorios libres de mercurio, alguna variante. Con o sin guía del profesor los alumnos pueden ver que hay dos preguntas que exigen respuesta:

1) ¿Qué sostiene en su lugar la columna de mercurio?
2) ¿Hay algo en el espacio sobre la columna de mercurio?

Se trata de dos preguntas distintas, aunque con frecuencia se responden juntas. En la época de Pascal y Torricelli algunos dijeron que la respuesta a la primera pregunta era que la presión del aire empujaba la superficie del mercurio en el plato. Otros, que negaban que el aire tuviera peso, explicaron en forma diferente cómo se sostenía la columna de mercurio. En respuesta a la segunda pregunta, muchos dijeron que no había vacío; pocos respondieron que había un vacío. A mediados del siglo XVII, las cuatro respuestas tenían sus adeptos.

Las preguntas anteriores pueden reformularse en la siguiente matriz (siguiendo a Dijksterhuis, 1961/1986, p. 445); se nombran los defensores representativos de las distintas respuestas incluidas.

	Sí	*No*
¿La presión atmosférica es la que sostiene el mercurio?	Descartes Pascal	Todos los aristotélicos Roberval
¿Existe un vacío sobre el mercurio?	Roberval Boyle	Todos los aristotélicos Descartes Galileo Hobbes

Cada una de estas opiniones dependía de consideraciones lógicas, técnicas y experimentales. Entre quienes negaban que existiera presión atmosférica y vacío, algunos dijeron que lo que provocaba que la columna subiera eran vapores o espíritus del líquido. Para probar esta idea, Pascal tomó vino y agua y le preguntó a sus adversarios qué subiría más por el tubo de Torricelli. Su público razonó que, puesto que el vino era más volátil, produciría más vapores y por lo tanto subiría más alto que el agua. Cuando se realizó el experimento, se comprobó que el agua subía más que el vino. Así que la hipótesis de los espíritus tuvo que ser abandonada o reformulada. Otros, que se oponían a la idea del vacío, dijeron que en lo alto del tubo había quedado una pequeña cantidad de aire. Pascal tomó tubos de diferentes diámetros y estableció que lo que era constante era la altura de la columna, no el volumen de ese espacio, como habría ocurrido de ser cierta la hipótesis rival. De nuevo, dicha hipótesis hubo de ser abandonada o reformulada. Mediante preguntas, debates y la lectura de materiales originales, puede

invitarse a los alumnos a recorrer estas opciones y lograr así que aprendan algo sobre el proceso de la argumentación científica y la verificación de las hipótesis al tiempo que aprenden sobre presión atmosférica. Estas introducciones históricas, en forma de puestas en escena de discusiones científicas reales, le proporcionan a los alumnos una mirada invaluable a los argumentos científicos.

Esta secuencia ejemplifica las diferencias entre la simple observación y el experimento científico, la relación entre la teoría y la construcción de experimentos y la reconsideración de la teoría a la luz de resultados experimentales que entran en conflicto con ella, un proceso mucho más enredado de lo que puede pensarse. Por ejemplo, la doctrina del *horror vacui* puede reconciliarse con los resultados experimentales aberrantes mediante un simple giro: podría haberse afirmado que las diversas alturas de la columna de mercurio establecían los distintos grados en los que la naturaleza aborrece el vacío. El aborrecimiento de la naturaleza no es absoluto, sino relativo a la sustancia que no ocupa. La naturaleza está preparada para empujar el mercurio hasta cierto lugar, y otros líquidos hasta alturas distintas, en su esfuerzo por evitar un vacío. Así, en vez de que la altura de la columna constituyera una medida de la presión atmosférica que empuja el líquido sobre el plato, era una medida del grado en el cual la naturaleza aborrece el vacío. Combatir esta jugada en ciencia requiere que se ignoren, y se descarten formalmente, las hipótesis *ad hoc*.

Pascal, en el más conocido de sus experimentos, hizo que se llevara un barómetro al monte Puy-de-Dôme en 1684, lo que confirmó que la altura de la columna era menor cuanto más alto se llevara. Pensó que esto se debía a que mientras más alta era la montaña había menos aire presionando la superficie del mercurio. Se puede invitar a los alumnos a imaginar esta prueba experimental y, si están cerca de edificios o zonas muy altas, tal vez tengan la oportunidad de llevarla a cabo por sí mismos. El cuñado de Pascal llevó a cabo el experimento, y los resultados fueron tal como se habían predicho. Dejó un barómetro al pie de la montaña para comprobar que su nivel no cambiara a lo largo del día, un control que puede llevar a los alumnos a reflexionar sobre la importancia de los experimentos controlados en ciencia (e incluso en la investigación educativa). Los resultados fueron maravillosamente congruentes con la hipótesis de la presión atmosférica, y de hecho Pascal lo consideró un *experimentum crucis* entre ambas doctrinas.

Podría parecer que, contra los dogmas de la filosofía aristotélica, se había demostrado no sólo la existencia del vacío sino también que el aire tiene peso. Pero en la vida, como en la ciencia y la filosofía, las cosas no siempre eran tan sencillas. Los teóricos antivacío aristotélicos podían argumentar que el experimento de Pascal únicamente probaba que, conforme nos acercamos más a los cielos, disminuye el aborrecimiento de la naturaleza por el vacío. Thomas Hobbes (1588-1679) y René

Descartes (1596-1650), ambos firmes oponentes del aristotelismo, reconocieron toda la evidencia experimental que habían presentado Pascal y Roberval, y, sin embargo, rechazaron la conclusión que establecía la existencia del vacío. Por ejemplo, sobre la prueba supuestamente definitiva de Torricelli sobre la existencia del vacío, Thomas Hobbes dijo que: "Si la fuerza con la cual el azogue desciende es suficientemente grande […] hará que el aire penetre el azogue dentro del recipiente, y subirá dentro del cilindro para llenar el lugar que ellos [los vacuistas] pensaron que estaba vacío" (Shapin y Shaffer, 1985, p. 89).

Hobbes y Descartes pensaron, respectivamente, que el vacío estaba lleno de sustancia etérea y sustancia sutil.[14] Cuando se recuerda a los alumnos que un vacío tiene una presión muy baja o nula, y además que los líquidos se evaporan y luego hierven a bajas presiones, entenderán que la idea de que en el espacio sobre el mercurio exista una sustancia sutil tiene sus méritos. Si hubiera un vacío arriba, el mercurio sin duda se evaporaría.

Lecciones metodológicas

En casi todas las etapas de la secuencia anterior tuvo que darse el paso científico básico de ir de la evidencia fenomenológica a los mecanismos invisibles. Los alumnos pueden repetir fácilmente el proceso de reunir evidencias, realizar conjeturas, hacer pruebas y así apreciar la naturaleza de la elaboración de hipótesis científicas y el proceso de validación.[15] Al hacerlo pueden aprender más sobre la naturaleza de la ciencia.

Ir tras los pasos de la investigación sobre la presión atmosférica revela lo difícil y complejo que es describir la evidencia en forma aceptable para todas las teorías rivales, formular hipótesis que puedan probarse en forma empírica, probar las hipótesis, diseñar y realizar experimentos con controles adecuados, rechazar hipótesis cuando tengan evidencias en contrario y rescatar las hipótesis a pesar de esta evidencia. Discutir esta historia puede llevar a hacerse preguntas filosóficas centrales —sobre las que mucho se ha escrito— como la posibilidad de que existan experimentos cruciales (véase la tesis de Duhem-Quine), la diferencia entre la alteración *ad hoc* y la alteración justificada de teorías a la luz de evidencia contradictoria (véanse Popper y Lakatos) y el papel de la metafísica para mantener las teorías científicas (véase Burtt y Buchdahl). Algunos temas de sociología de la ciencia también pueden acomodarse en este estilo de enseñanza. Puede verse claramente cómo un investigador depende del otro —Torriccelli de Galileo, Boyle de Von Guericke— y también apreciarse la importancia consiguiente de la comunicación abierta y la honestidad en ciencia.

La mayor parte de las ideas iniciales de los alumnos sobre las formas de poner a

prueba una teoría científica consisten en el método hipotético-deductivo ingenuo:

Teoría (*T*) implica Observación (*O*)
Ocurre *O*
Por lo tanto, *T* está confirmada

o bien

O no ocurre
Por lo tanto, *T* es falsada

La secuencia anterior demuestra que estas ideas básicas deben elaborarse para tomar en cuenta que lo que conforma la situación a probar es tanto la teoría como la descripción de las condiciones iniciales (*C*). Así, tenemos:

T y *C* juntas implican *O*
Si no *O,*
Entonces, no *T,* o no *C*

Pero esto sigue siendo demasiado simple, puesto que la prueba también incorpora supuestos sobre la confiabilidad y validez de los aparatos y los instrumentos de medición (*I*) de la prueba. Así, tenemos:

T y *C* e *I* juntas implican *O*
Si no *O,*
Entonces no *T,* o no *C,* o no *I*

Cuando se incluyen supuestos metafísicos (*M*) en un experimento científico, tenemos esta situación:

M y *T* y *C* e *I* juntas implican *O*
Si no *O,*
Entonces no *M,* o no *T,* o no *C,* o no *I*

Ésta es la estructura argumentativa sobre la cual profundizaremos en el capítulo VI, sobre el debate acerca de la forma de la Tierra.

Con este enfoque histórico pueden alcanzarse los objetivos educativos de pensar críticamente y razonar en forma cuidadosa, puesto que apela a la mente de los alumnos. Un maestro que sepa sobre la historia de su tema puede identificar cuándo sus alumnos

están haciendo las mismas jugadas intelectuales que científicos previos y puede animarlos a reconsiderar los debates que tuvieron lugar en el pasado. Esto les permite apreciar tanto los logros como los errores de los científicos de antaño y tal vez sentir cierta empatía con ellos.[16]

La oposición a la historia

La oposición a incluir la historia en los programas de ciencia ha provenido de dos flancos: de los historiadores que creen que la historia que se enseña en las lecciones de ciencia es o bien una versión empobrecida o directamente un invento que apoya la ideología científica del momento, y de los científicos que creen que consume tiempo valioso que podría dedicarse a la ciencia de verdad, y que incluso puede erosionar las convicciones de los alumnos de que sus esfuerzos sirven para descubrir verdades sobre el mundo. En 1970, en una conferencia en el MIT patrocinada por la International Commission on Physics Education (Brusk y King, 1972) ambos bandos presentaron sus argumentos.

La pseudohistoria

El argumento de Martin Kelin consistía, básicamente, en que los maestros de ciencia que seleccionan y usan materiales lo hacen con el propósito de cumplir propósitos científicos o pedagógicos, que esta selección es contraria al canon de la buena historia y que, por lo tanto, "al tratar de enseñar física mediante su historia, o al menos con ayuda de su historia, corremos el riesgo de ser injustos con la física o con su historia, o con ambas" (Klein, 1972, p. 12). Aprueba la advertencia de Arthur O. Lovejoy cuando lo cita: "Cuanto más se concentra un historiador en los problemas que ha generado la historia en el presente, o permite que sus investigaciones sean moldeadas por el material conceptual filosófico o científico del periodo en el que escribe, más probabilidades tiene de ser un mal historiador" (Klein, 1972, p. 13).

El resultado de este enfoque parcial o selectivo "es, casi inevitablemente, una mala historia, en el sentido de que el alumno no tiene idea de qué problemas preocuparon en realidad a los físicos del pasado, los contextos en los que trabajaron o los argumentos que convencieron, o no, a sus contemporáneos para aceptar nuevas ideas" (Klein, 1972, p. 13).

Por añadidura, Klein sugiere que existía una gran diferencia básica en las actividades científicas mismas, y que la historia celebra un matrimonio muy improbable que, cuando sucede, produce una unión corta y tormentosa:

> Una de las razones por las cuales es difícil hacer que la historia de la física satisfaga las necesidades de la enseñanza de la física es una diferencia esencial en las miradas del físico y el historiador […] es muy difícil imaginar que se combine la rica complejidad de los hechos, que el historiador se esmera en alcanzar, con las nociones sencillas y claramente definidas que buscan los físicos [Klein, 1972, p. 16].

En defensa de esta concepción de la actividad histórica y de las razones por las que debería mantenerse fuera de las aulas, repite el mandato de Herbert Butterfield: "Cuando

describe el pasado, el historiador debe recapturar la riqueza de los momentos […] y lejos de borrarlos, acumula lo concreto, lo particular, lo personal" (Klein, 1972, p. 16).

También menciona a Otto Neugebauer, el historiador de la ciencia clásica que, como Butterfield, pensaba que el papel del historiador era recuperar la complejidad del pasado. En su *The Exact Sciences in Antiquity* [Las ciencias exactas en la Antigüedad, 1969], Neugebauer escribió:

> No considero que el objetivo de los textos sobre historia sea condensar la complejidad de los procesos históricos en algún tipo de "compendio" o "síntesis". Por el contrario, entiendo que el propósito principal de los estudios históricos es desdoblar la formidable variedad de fenómenos que están conectados con todas las fases de la historia humana y contrarrestar así la tendencia natural a la sobresimplificación y a las construcciones filosóficas que son fieles compañeras de la ignorancia [Neugebauer, 1969, p. 208].

La conclusión de Klein fue que si la buena enseñanza de la ciencia emplea historia para lograr sus propósitos, tendrá que emplear una mala historia. Prefiere no tener historia a tener mala historia.

La cuasihistoria

M. A. B. Whitaker llevó más allá estas afirmaciones en un artículo en dos partes titulado "History and quasi-history in physics education" [La historia y la cuasihistoria en la enseñanza de la física] (Whitaker, 1979). Como a Klein, le preocupaba identificar la historia predominante que se inventaba para acomodar no sólo los fines pedagógicos sino los fines de la ideología científica o la concepción de ciencia del autor. Estos casos abundaban en los libros de texto.

Uno que se ha discutido mucho es el popular relato de cómo Einstein propuso la existencia del fotón tras encontrarse una contradicción aparente entre el efecto fotoeléctrico y la teoría ondulatoria de la luz. El efecto fotoeléctrico puede verse en la creación de corriente entre placas en un vacío cuando la luz ilumina una de éstas. Según el libro de texto estándar (PSSC, 1960, p. 596), desde finales del siglo XIX ya se sabía que los aspectos anómalos del efecto fotoeléctrico —como que la energía de los electrones emitidos no dependiera de la intensidad de la luz y de que existieran niveles mínimos de frecuencia para producir el efecto, independientemente de la intensidad de la luz— eran un problema para la teoría ondulatoria ortodoxa de la luz. En esta teoría, la intensidad de la luz era una medida de su energía, de modo que la luz de cualquier frecuencia, siempre y cuando fuera lo suficientemente intensa, debería producir el efecto fotoeléctrico. Esto no ocurre.

La explicación estándar dice que cuando en 1905 Einstein formuló la teoría de que la luz está compuesta de fotones, con su fórmula $E = hf$ (la energía de un fotón es igual a

una constante por la frecuencia del rayo de luz), inspirada por Planck, se presentó como una solución brillante para las anomalías y como precursora de un nuevo periodo en la física de la radiación. La vieja batalla entre las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz se había resuelto gracias a una posición intermedia que mostraba que las ondas de luz vienen en paquetes, y por lo tanto son como partículas. Esta explicación refuerza la imagen pública y científica de Einstein, concuerda con el modelo hipotético deductivo de las teorías científicas, hace hincapié en la racionalidad de la ciencia y demuestra la naturaleza progresiva del trabajo científico. En otras palabras, en este relato no hay nada que perturbe la imagen racional, metódica e inevitable del progreso científico que suelen imaginar tanto los científicos como el público. El único problema es que la verdadera historia no es para nada sencilla.

Durante muchos años, científicos respetables como Lenard, Thomson y Lorentz habían presentado explicaciones del efecto fotoeléctrico que se concentraban en las estructuras y los comportamientos internos del átomo (la resonancia provocada por la luz) en vez de en las propiedades de los haces de luz.[17] Éstas explicaban el efecto tan bien como la peculiar hipótesis de Einstein. Planck, el autor de la teoría cuántica, rechazó el "paquete de ondas" o la interpretación fotónica en su libro de 1912 sobre la radiación térmica. Robert Millikan, que recibiría un premio Nobel por su confirmación de la hipótesis de Einstein de 1905, dice en su autobiografía: "Creo que es correcto afirmar que las ideas de Einstein sobre los pulsos de luz, o como ahora los llamamos, fotones, prácticamente no tenían adeptos antes de 1915, más o menos […] En sus primeras etapas ni Einstein mismo las defendía en forma enérgica o definitiva" (Millikan, 1950, p. 67).

La recepción que se le dio a la hipótesis de Einstein, en general mixta pero básicamente indiferente, resulta evidente en el hecho de que no recibiera el premio Nobel por su artículo sino hasta 1921, unos 16 años después de la publicación. Esto sugiere que el proceso de conversión racional de la comunidad científica es un tanto parsimonioso. E incluso cuando comenzaron a aparecer defensores, lo que defendían era la ecuación de Einstein, no su interpretación física de la ecuación, lo que constituye una gran diferencia. En 1916 Millikan escribió que: "A pesar […] del éxito al parecer absoluto de la ecuación de Einstein, la teoría física sobre la cual estaba diseñada […] se consideraba tan insostenible que creo que ni Einstein mismo la respaldaba ya" (Pais, 1982, p. 380).

El texto de física de Halliday y Resnick, extremadamente popular, le concede mucha importancia a la confirmación experimental de Millikan de la teoría fotónica de Einstein, al decir que sus experimentos "validaron todos los detalles de las ideas de Einstein". Pero, de nuevo, los experimentos no confirmaron la teoría de Einstein sino sólo su ecuación. E incluso la confirmación de esta ecuación (que relaciona la energía del electrón emitido con la frecuencia de la luz que golpea la placa) no resultaba para nada

inequívoca. Diversos físicos experimentales interpretaron que los datos de Einstein demostraban que la energía variaba con el cuadrado de la frecuencia, o la frecuencia elevada a dos terceras partes, o incluso que no tenía relación alguna con la frecuencia (Kragh, 1986, p. 74). Los datos de Millikan estaban abiertos a diversas interpretaciones matemáticas alternativas a la que él escogió —que la energía variaba conforme la frecuencia—; esta ecuación matemática no llevaba su interpretación física bajo la manga, y no probaba que la luz viajara en paquetitos.

Esto prueba, sin duda, las acusaciones que hacen Klein y Whitaker sobre la imprecisión y las distorsiones de buena parte de la historia de los textos de ciencia. Por qué existen estas imprecisiones es una pregunta interesante, y su respuesta revelaría mucho sobre la ideología de la enseñanza de la ciencia y sobre la función de los libros de texto. Whitaker dice, sobre la cuasihistoria, que es "resultado de una gran cantidad de libros escritos por autores que pensaron que tenían que animar un poco sus relatos [de estos episodios] con un poco de contexto histórico, pero que de hecho han reescrito la historia para que encaje, punto por punto, con la física" (Whitaker, 1979, p. 109).

Ahora bien, no le parece que esta historia surja de un esfuerzo consciente por defender la idea de ciencia de quien escribe: "No asumo que los autores de cuasihistoria tengan necesariamente una intención filosófica, ni siquiera en forma subconsciente. Para mí la cuasihistoria es, más frecuentemente, el resultado de un esfuerzo desencaminado por encontrar orden y lógica, como una cualidad muy conveniente para la enseñanza y el aprendizaje" (Whitaker, 1979, p. 239). Whitaker atribuye los errores de la cuasihistoria a un descuido de la "naturaleza social y pública de la ciencia".

La cuasihistoria no es sólo la pseudohistoria de Klein, o una historia simplificada, donde es probable que existan errores u omisiones, o donde el relato puede no contar estrictamente "la verdad, toda la verdad y nada más que la verdad"; la cuasihistoria es una versión manufacturada de la historia que se hace pasar por historia genuina. Es equivalente a las "reconstrucciones racionales" de la historia de Lakatos (Lakatos, 1971), pero para él el relato histórico se etiquetaba llanamente así, "reconstrucción racional". Los personajes históricos se pintan con la paleta de la ortodoxia metodológica del momento. Galileo es un buen ejemplo de este fenómeno: en los textos de los empíricos es retratado como un experimentalista, en otros textos como un instrumentalista y en otros más como un racionalista. Se ha convertido, como documentaremos en el capítulo VI, en un hombre para todos los gustos filosóficos. Cuando la cuasihistoria se sustituye por la historia se anula el poder de esta última para arrojar luz sobre el presente. Si el historiador selecciona e interpreta su material en forma inflexible, según una postura filosófica previa, resulta difícil, si no es que imposible, que estos datos reconstruidos sirvan para evaluar correctamente esa postura.

Los textos históricos, filosóficos y científicos que describen las décadas de retraso

con las que se aceptó la tectónica de placas de Alfred Wegener como el mecanismo para su hipótesis de la "deriva continental", de 1912, ejemplifican bien los problemas que Whitaker identifica en la cuasihistoria.[18] Suele contarse que la hipótesis terminó por ser aceptada gracias a que la tectónica de placas servía o bien para hacer predicciones nuevas que podían verificarse o bien para unificar un extenso conjunto de datos hasta entonces dispersos y que, a la inversa, la teoría se rechazó porque dejaba más datos sin explicar que los que explicaba. Un estudioso ha comentado que:

> Sin embargo, una lectura cuidadosa del registro histórico no permite corroborar que su aceptación o su rechazo se hayan hecho con base en ninguna de estas razones. Diría que representa un problema que los filósofos de la ciencia comiencen con algún criterio general preconcebido sobre la aceptación de la teoría y que más adelante, conforme leen sobre la historia del desarrollo de dicha teoría, seleccionen los acontecimientos que confirman sus preconcepciones [Ryan, 1992, p. 71].

La destrucción de la confianza

El tercer tipo de crítica contra la inclusión de la historia de la ciencia en las clases de ciencia es que debilita el espíritu científico de los neófitos. Durante la conferencia del MIT, el historiador Harold Burstyn desarrolló el problema de Klein en términos de las diversas perspectivas de los alumnos, en vez de las de los maestros o los historiadores y científicos profesionales. Burstyn advierte que:

> Existen muchas evidencias (entre ellas mi propia experiencia enseñando historia de la ciencia a estudiantes de ciencia) de que los alumnos de ciencia y los alumnos de otras materias tienen diferentes perspectivas sobre el mundo. Por decirlo en forma peyorativa, los estudiantes de ciencia buscan las respuestas "correctas", y tienen estilos de pensamiento "convergentes" y no "divergentes". El problema al que se refiere Klein es éste: ¿Es verdad que puedes usar los materiales históricos, que se distinguen por su complejidad, dispersión e imprecisión, para darle clases a personas que están interesadas en obtener las respuestas correctas y que, si tienen éxito, no puede ser desviadas de esta búsqueda en las formas en las que nosotros los historiadores querríamos desviarlos? ¿No es así que la historia subvierte, en cierta forma, los objetivos de la pedagogía de la física? [Brush y King, 1972, p. 26].

Thomas Kuhn hizo la misma acusación años antes, durante una conferencia sobre creatividad científica (Kuhn, 1959). La repitió en la primera (1962) y segunda (1970) ediciones del enormemente popular *La estructura de las revoluciones científicas.* Durante su intervención en la conferencia, llamó la atención hacia el hecho de que:

> El rasgo más llamativo de esta enseñanza [de la ciencia] es que, en un grado totalmente desconocido en otros campos, se lleva a cabo únicamente mediante libros de texto. Los alumnos de la carrera y la especialización en química, física, astronomía, geología o biología típicamente adquieren el grueso del conocimiento sobre sus campos a través de libros escritos especialmente para estudiantes [Kuhn, 1959, p. 228].

Kuhn nota que no se invita a los alumnos de ciencia a leer los clásicos históricos de su área, “obras en las que podrían descubrir otras formas de considerar los problemas que se discuten en sus libros de texto” (Kuhn, 1959, p. 229). Todo esto produce un riguroso entrenamiento para el pensamiento convergente, y Kuhn sostiene que las ciencias “no podrían haber alcanzado su estado o su estatus actual sin él” (Kuhn, 1959, p. 228), una postura por completo opuesta al tipo de pedagogía que Ernst Mach pensaba que era necesaria para el avance de la ciencia. Kuhn justifica este tipo de entrenamiento con sus resultados: no sólo la producción de buenos pensadores convergentes sino también la de un pequeño grupo de innovadores y de científicos creativos que no habrían sido capaces de innovar de no haber estado profundamente inmersos en la ortodoxia de su disciplina. Estas ideas dieron origen tanto al título de su conferencia como a su libro posterior, *The Essential Tension* [La tensión esencial, 1971/1977]. Kuhn desarrolló estas ideas en *La estructura de las revoluciones científicas,* donde afirma que en un salón de clases de ciencia la historia de la ciencia debe ser distorsionada, y debe hacerse que parezca que los científicos previos trabajaron en el mismo conjunto de problemas que los modernos con el objetivo de que los aprendices de científicos se sientan parte de una exitosa tradición de búsqueda de la verdad (Kuhn, 1970, p. 138).[19]

Stephen Brush profundizó aún más el ataque de Kuhn en “Should the history of science be rated X?” [¿La historia de la ciencia tendría que ser clasificación X?, Brush, 1974]. En este artículo sugiere, en tono jocoso, que la historia de la ciencia podría ser una mala influencia para los alumnos, porque socavaría las certezas de un dogma cientificista que se considera necesario para mantener el entusiasmo de quienes aprenden una tarea difícil. Advirtió a los maestros que “el maestro que desea adoctrinar a sus alumnos en el papel tradicional del científico como un investigador neutral no debería usar materiales históricos del tipo de los que preparan hoy los historiadores de la ciencia: no servirán para sus propósitos”.

Los ataques de Klein-Whitaker-Kuhn son serios pero no fatales; sus inquietudes fundamentales pueden resolverse sin tener que expulsar la historia de las clases de ciencia. Reformularé brevemente estas acusaciones y luego las comentaré.

Ataque I: La ciencia y la historia son actividades intelectuales muy diferentes, puesto que la primera busca la sencillez e ignora las circunstancias externas, mientras que la segunda celebra y busca la complejidad; así, para incluir la historia en los salones de clase hay que cultivar dos perspectivas mentales antagónicas.

En primer lugar, en caso de que esta acusación sea cierta, ¿de verdad es tan desafortunada? Cultivar distintas perspectivas mentales debería ser un objetivo de la educación. Un buen plan de estudios es el que alienta a tener una gama de perspectivas y formas de abordar los problemas; así, se pide que los alumnos estudien matemáticas, literatura, arte, historia, ciencia y tal vez moral, civismo y religión. La preocupación parece residir en que en una misma aula se fomenten distintos hábitos mentales, pero ni siquiera esto debería ser problemático. Algunas veces el maestro de lengua fomenta la creatividad y la libre expresión, otras el aprendizaje mecánico y el pensamiento disciplinado y otras más la comprensión empática y el razonamiento moral. Por supuesto, el maestro de lengua además debe proporcionar los contextos históricos y políticos de los textos que se estudian. ¿Las novelas de Dickens pueden apreciarse sin saber al menos un poco sobre la sociedad inglesa decimonónica y los hilos que movían su economía? ¿Pueden entenderse las novelas de Orwell sin saber nada sobre los totalitarismos de izquierda y de derecha del siglo XX? Nadie considera que estas perspectivas diversas perturben la tarea fundamental del maestro de lengua: formar alumnos cultos. Tener un programa tan heterogéneo no tendría por qué preocuparle más al maestro de ciencias que al de lengua. Además, tenemos una infinidad de ejemplos de programas transdisciplinarios exitosos que evitan estos supuestos inconvenientes y alcanzan algunos de los objetivos de una educación liberal.

La historia no es la única en llevar la esquizofrenia intelectual al salón de clases. Con creciente frecuencia se considera que la moral y la política son componentes legítimos, y de hecho necesarios, para la enseñanza de la ciencia. Esto resulta particularmente evidente en numerosos cursos de ciencia, tecnología y sociedad y temas sociocientíficos en los que asuntos morales y políticos, tales como la contaminación, las fuentes alternativas de energía, la conservación, la sustentabilidad y otros, se emplean como ejes alrededor de los cuales se construyen los cursos de ciencia. Estos cursos piden que los alumnos piensen en formas tanto morales y políticas como científicas en el contexto de una misma clase. Además de los cursos de ciencia, tecnología y sociedad, el plan nacional de estudios británico, *Project 2061,* y otros diseños curriculares convencionales

también requieren que los alumnos de ciencia consideren los temas desde diversas perspectivas. Los argumentos que se han esgrimido contra la historia también expulsarían de las aulas de ciencia estas consideraciones adicionales. Sin embargo, no parece haber bases científicas para tomar esa decisión, más allá de la falta de tiempo que es consecuencia de unos planes de estudio atiborrados de contenidos, y existen buenas razones pedagógicas para incluir reflexiones más profundas.

En segundo lugar, ¿es verdad que las diferencias entre un enfoque científico y uno histórico realmente son tan dramáticas? Para empezar, la historia que describe Klein, que sólo busca la complejidad y no deja nada de lado, es errónea: cualquier estudio histórico debe ser selectivo, si bien es cierto que con frecuencia se propone emplear la historia empírica y centrada en los hechos de Klein. Ranke, el famoso historiador del siglo XIX, propuso que la tarea de la historia no era más que "mostrar cómo fue". Esto es directamente retórico, o bobo, o ambas cosas. Son bien conocidas las duras críticas que hizo E. H. Carr a estas ideas (Carr, 1964).

En síntesis, la historia no puede contarlo todo: tiene que ser selectiva. Una historia del desarrollo de los ferrocarriles en Inglaterra tiene derecho a ignorar los acontecimientos teatrales de la época, pero por más que se concentre en los temas relacionados con la industria ferroviaria sencillamente habrá demasiados temas —los clientes, las llegadas y salidas de trenes, la arquitectura de las plataformas, la mano de obra y sus costos, la comida a bordo, las compras de acero, etc.— y habrá que seleccionar algunos. Un historiador no es un archivista; el trabajo de este último consiste en ordenar y guardar los horarios, los menús, las bitácoras de pedidos, etc. (e incluso este trabajo exige que se tenga cierta idea de qué documentos pueden llegar a ser útiles). Del historiador se espera, por su lado, no sólo que seleccione sino que logre algo a partir del registro histórico. Afirmar esto, y oponerse así a las perspectivas empíricas simples de la historia, no significa defender las extremas opiniones posmodernas de quienes afirman que la historia es un mero constructo, que no existen hechos que establecer.

Siempre y cuando se tenga en mente algún objetivo, y se pongan en marcha ciertos principios de inclusión o exclusión de datos, detallar las fechas correctas, sacar a la luz toda la correspondencia relevante y otro tipo de actividades académicas puede resultar de la mayor importancia. Los científicos dejan de lado el color, la textura y la composición de una pelota que cae y reemplazan toda esta riqueza con una simple masa puntual; del mismo modo, los historiadores deben dejar de lado parte de la riqueza de los episodios históricos y buscar acontecimientos esenciales relevantes para la historia que buscan contar. En este sentido su disciplina no es tan distinta de la ciencia. Un artículo académico puede concentrarse en todos los árboles que se desee, pero en el salón de clases y en los libros de texto no debe ponerse tanta atención en los árboles que no se pueda ver el bosque.

Ataque II. Resulta inevitable que la historia que se emplea en el salón de clases sea una pseudohistoria, puesto que se encuentra al servicio de la enseñanza de la ciencia.

Esta acusación no es más que una variante de la primera, y no debería disuadir a los maestros de ciencia. Su aparente solidez reside en una confusión entre escribir historia y usar historia en las clases de ciencia. Con algunas excepciones notables, como la de F. W. Westaway y E. J. Holmyard, los maestros de ciencia no son historiadores. Escribir historia de la ciencia puede ser problemático cuando se hace con el objetivo de cumplir algún propósito ulterior que provoca distorsiones. Escribir con un propósito en mente no tiene por qué producir pseudohistoria. Sea como fuere, los maestros de ciencia usan la historia con propósitos pedagógicos explícitos, y su empleo de la disciplina debe juzgarse con criterios distintos de los de los historiadores profesionales; se trata de dos actividades muy diferentes.

Hay que recordar que la enseñanza de la ciencia no es investigación histórica: son actividades distintas, con diferentes propósitos y diferentes criterios de éxito y autenticidad. Los estándares de sofisticación que exige la investigación histórica están fuera de lugar cuando se aplican a la pedagogía de la ciencia. En pedagogía es necesario simplificar los temas, y esto es válido tanto para la historia de la ciencia como para la economía o la ciencia misma. La tarea del pedagogo es producir una historia simplificada que arroja luz sobre el tema y fomenta el interés del alumno, y que sin embargo no constituye una caricatura de los acontecimientos históricos. La simplificación será relevante para el grupo de edad al que se enseña y para el plan de estudios en general. La historia puede volverse más compleja conforme lo exija la situación educativa. Acusar a los maestros de educación básica de hacer hagiografía muestra que no se entiende lo que hacen: tratar de que los alumnos se interesen por personajes importantes en la historia de la ciencia. Criticar a los maestros de educación secundaria por simplificar la historia de la genética es malinterpretar sus objetivos, es decir, tratar de enseñar genética en una forma que los adolescentes encuentren interesante y comprensible. El arte de la pedagogía consiste en simplificar los temas y las narraciones históricas, de modo tal que las inevitables aproximaciones y distorsiones sean educativamente benéficas, y no perjudiciales.

Este arte resulta en lo que Lee Shulman llamó atinadamente "el conocimiento didáctico del contenido" (CDC) (Shulman, 1986, 1987) y lo que comúnmente se caracteriza como la "transposición didáctica" en las tradiciones didácticas europeas.[20] Es en las prácticas cotidianas en las aulas donde los maestros convierten el conocimiento profesional formal en conocimiento que puede enseñarse en las escuelas. Como dice Shulman, el conocimiento didáctico del contenido requiere que el especialista en el tema conozca "las formas más útiles de las analogías, las ilustraciones, los ejemplos, las explicaciones y las demostraciones; en una palabra, las formas de representar y formular

el tema de modo que resulte comprensible para otros" (Shulman, 1986, p. 6). Estas ideas parecen sensatas y encomiables, y sin embargo algunos pedagogos de orientación más constructivista y posmodernista han criticado la postura de Shulman, puesto que "se inspira en una epistemología esencialmente objetivista" y "se concentra principalmente en las habilidades y el conocimiento que posee el maestro, más que en el proceso de enseñanza" (Banks *et al.,* 2005, p. 333).

Mientras se esté consciente de estos problemas, la historia es un elemento que puede usarse con provecho para el conocimiento didáctico del contenido. Helge Kragh expresó bien su defensa de la historia: "En un contexto educativo la historia tiene que incluirse de una forma pragmática, más o menos editada. No haya nada ilegítimo en ese uso pragmático de los datos históricos, siempre y cuando no cumpla propósitos ideológicos o transgreda nuestro conocimiento de lo que pasó realmente" (Kragh, 1992, p. 360).

Ataque III: Es probable que la historia que se usa en las clases de ciencia sea una cuasihistoria por culpa de los propósitos y las limitaciones del maestro de ciencia.

En primer lugar, como hemos dicho, hay bastante de cierto en esta afirmación, y por lo tanto sirve como una advertencia oportuna para quienes defienden el uso de la historia en las clases de ciencia. El problema de la historia "revisionista" es tristemente célebre en el ámbito político y con frecuencia destruye los propósitos de la historia escolar, que son ampliar el panorama mental de los alumnos. Sabemos que las historias oficiales soviéticas sobre el Partido Comunista son inútiles, históricamente; la historia oficial misma cambia con cada modificación en el liderazgo del partido. A partir de agosto de 1991, todas esas historias se tiraron a la basura y comenzaron a escribirse nuevos planes de estudio a lo largo y ancho del ex bloque soviético. A pesar de las demandas que entabló el valiente historiador no posmodernista Saburo Ienaga, los libros de texto japoneses oficiales han reescrito la historia de la Guerra del Pacífico: básicamente se omite el periodo, y cuando se menciona es en términos de los esfuerzos de Japón por fortalecer el crecimiento económico de Asia. Muchas historias estadunidenses, sobre la "apertura del Oeste", la conquista de los territorios mexicanos, la guerra contra España de 1905, la Guerra de Vietnam, la historia laboral, etc., también tienen influencias ideológicas y distorsionan los registros históricos. Llama la atención que existan tantas historias de Medio Oriente como existen intereses nacionales, religiosos y comerciales. Las historias que escribió el Partido Comunista chino sobre Mao, la Revolución cultural, el Tíbet y la plaza de Tiananmen están tan corrompidas como sus contrapartes soviéticas.

Si se considera la importancia y el estatus de la ciencia y de sus éxitos, no resulta sorprendente que haya diversos grupos políticos e ideológicos que escriban historias de la ciencia en las que se exhiben a sí mismos como campeones y responsables de los logros de ésta. Los nazis escribieron historias arias de la ciencia que demostraban que los científicos judíos eran malos investigadores o les robaban buenas ideas a los alemanes

(Beyerchen, 1977). La Unión Soviética produjo su propia versión ideológica de la historia de la ciencia (Graham, 1973). En la historia del conflicto entre la Iglesia y la ciencia, ambos lados escribieron historias adecuadas para defender su posición. A veces las distorsiones son conscientes; otras veces lo son menos. Muchos han argumentado que las monumentales historias de la ciencia de Duhem y los estudios de caso de Poincaré están influidos y, algunos dirían, afectados por su catolicismo (Nye, 1975; Paul, 1979). Sin duda en las historias de la ciencia abundan los mitos y las ideologías, igual que lo hacen en las historias políticas, sociales y religiosas;[21] es buena idea que todos lo reconozcamos y nos vayamos con cuidado en los salones de clase. Howard Zinn, el historiador estadunidense, lo expresó bien:

> Para cuando comencé a dar clases y a escribir ya no abrigaba ninguna ilusión sobre la "objetividad", si eso implicaba evitar algún punto de vista. Sabía que un historiador (o un periodista, o cualquiera que contara una historia) se veía obligado a escoger, de entre una cantidad infinita de hechos, qué presentar y qué omitir. Y esa decisión reflejaría, inevitablemente, y de forma consciente o inconsciente, los intereses del historiador [Zinn, 1999, p. 657].

Ataque IV: Los estudios históricos serios socavan el compromiso científico.

Se trata de una afirmación empírica con evidencias bastante débiles. El autor ha enseñado cursos de "Historia y filosofía de la ciencia para maestros de ciencia" durante muchos años, sin haber visto nunca estos resultados perjudiciales. De hecho, son comunes comentarios como "los maestros están deseosos de recibir esta información", "no sabía que Galileo hizo estas cosas", "esto me anima a enseñar mejor la ciencia". La experiencia de Einstein, cuando su amigo Besso le dio *The Science of Mechanics* [La ciencia de la mecánica] de Mach, es tal vez más típica: haber estado expuesto a la historia avivó el compromiso de Einstein con la historia. Por supuesto, para que la historia tenga sentido debe dominarse un conjunto de conocimientos y técnicas científicas, pero no existe evidencia de que este dominio se vea impedido o amenazado por el estudio de la historia. Por el contrario, la extensa investigación que se ha hecho sobre el dominio de los temas científicos por parte de los miles de alumnos que estudiaron con los materiales del Harvard Project Physics en la década de 1970 resulta impresionante y contradice la afirmación pesimista de Kuhn. Del mismo modo, la evidencia, mucho más limitada, de los estudios de caso que realizaron Klopfer y Cooley para secundaria sugiere que la historia reaviva en los alumnos el interés —y la comprensión— de la ciencia. Haciendo a un lado el argumento de la efectividad, existen problemas educativos serios en la propuesta de intercambiar un supuesto compromiso de los estudiantes con la ciencia por la verdad histórica de la ciencia (Siegel, 1979). Esta discusión se fusiona rápidamente con el tema del adoctrinamiento en la educación.

Más allá de las consideraciones curriculares y pedagógicas que ya revisamos para sopesar el papel de la historia en las aulas de ciencia, existe un problema teórico importante: el de los supuestos mecanismos cognitivos involucrados en las transformaciones en la historia de la ciencia y en el desarrollo conceptual de los niños. Jean Piaget vinculó la historia de la ciencia con su descripción psicológica de la adaptación y el acomodamiento en la mente en desarrollo; propuso su propia versión de la tesis de que "la ontogenia recapitula la filogenia".[22] En palabras de Piaget: "La hipótesis fundamental de la epistemología genética es que existe un paralelismo entre el progreso que se hace en la organización lógica y racional del conocimiento y los procesos psicológicos formativos correspondientes" (Piaget, 1970, p. 13).

A su vez, la investigación de Piaget se incorporó a la comunidad de historia y filosofía de la ciencia gracias a la observación que hizo Thomas Kuhn en el prefacio de su primera edición de *La estructura de las revoluciones científicas,* de 1962, donde dice: "Una nota encontrada, por casualidad, al pie de una página, me condujo a los experimentos por medio de los cuales Jean Piaget ha iluminado tanto los mundos diversos del niño en crecimiento como los procesos de transición de un mundo al siguiente" (Kuhn, 1970, p. VI).

Una década más tarde, Kuhn ratificó su deuda con Piaget: "Parte de lo que sé sobre cómo formular preguntas sobre científicos muertos lo aprendí estudiando las interrogaciones de Piaget a niños vivos […] fue de los niños de Piaget de quienes aprendí a entender la física de Aristóteles" (Kuhn, 1971/1977, p. 21). Para Kuhn, este vínculo se reforzó cuando Alexandre Koyré le dijo que "la física de Aristóteles era la que le había enseñado a entender a los niños de Piaget" *(idem.)*.

La hipótesis de la recapitulación se ha investigado y debatido incansablemente. Se han hecho miles de estudios sobre la forma en la que los niños piensan sobre la naturaleza y los procesos astronómicos, sobre su razonamiento, adquisición de conceptos, maduración mental, epistemología e "ideas científicas".[23] No resulta sorprendente que un hilo conductor de todos estos estudios sea el reconocimiento de que la cognición es social, que el "creo" depende del "creemos"; nuestros pensamientos y nociones se expresan en forma de lenguaje, y para ello requerimos diversos grados de participación en una comunidad. Las teorías abstractas de la adquisición de conceptos fracasan porque son circulares; no podemos, como Robinson Crusoe, abstraer el concepto "dureza" de la experiencia con diversas cosas duras porque, además de la dureza, esas cosas siempre tienen otras propiedades. El concepto debe sernos entregado.

Si hay un estudio que podemos identificar como un vínculo indispensable entre el conjunto de la investigación piagetiana/kuhniana sobre el cambio conceptual y la

pedagogía de la ciencia es el de Posnet *et al.* (1982), "Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change" [El acomodamiento de una noción científica: Hacia una teoría de cambio conceptual]. Este estudio, enormemente citado, recoge las descripciones del cambio en las teorías científicas hechas por Kuhn, Toulmin y Lakatos. Ellos proponen que, para que ocurra el cambio conceptual individual o el aprendizaje, deben satisfacerse cuatro condiciones:

1) Debe existir descontento con los conceptos actuales.
2) El concepto que se propone para remplazarlo debe ser inteligible.
3) El concepto nuevo debe ser plausible, al menos al principio.
4) El nuevo concepto debe ofrecer soluciones a problemas viejos y nuevos; debe sugerir la posibilidad de un programa de investigación fructífero.

Este estudio, y otros, desencadenaron miles de intervenciones e investigaciones sobre el cambio conceptual tanto en las aulas como en los laboratorios.[24]

Una década más tarde, Striker y Posner señalaron algo que muchos investigadores del área habían pasado por alto: que su teoría original del cambio conceptual era "en gran medida una teoría epistemológica, no una psicológica […] que está arraigada en una concepción sobre el tipo de cosas que se consideran buenas razones" (Strike y Posner, 1992, p. 150). Su teoría original se ocupa de la "formación de las creencias racionales" (p. 152); no "describe las operaciones típicas que llevan a cabo las mentes de los alumnos, o alguna ley sobre el aprendizaje" (p. 155). Su teoría del aprendizaje individual depende de los análisis históricos y filosóficos del cambio científico que llevaron a cabo Thomas Kuhn, Imre Lakatos y Stephen Toulmin. Una vez que Strike y Posner se concentran en el cambio conceptual "racional", es claro que la filosofía entra en la escena psicológica.[25] Este punto se remonta al menos hasta Aristóteles (Jastrzebski, 2012) y lo sostuvo Ned Block en el prefacio de su importante antología *Philosophy of Psychology* [Filosofía de la psicología]:

> Cada vez resulta más claro que los conocimientos de muchas áreas de la psicología facilitan enormemente el progreso en la filosofía de la mente, y que los conocimientos filosóficos facilitan el progreso en psicología […] Hay una multitud de temas cruciales que no le "pertenecen" ni a la filosofía ni a la psicología, sino que se acomodan igualmente bien en ambas disciplinas porque reflejan las preocupaciones tradicionales de ambos campos. Los problemas sólo cederán ante los psicólogos filosóficamente sofisticados o ante los filósofos psicológicamente sofisticados [Block, 1980, p. v].

Por supuesto, esto respalda la hipótesis de ese libro: que existen muchos asuntos teóricos en la enseñanza de la ciencia que para ser elaborados y resueltos requieren los aportes de la historia y filosofía de la ciencia.

CONCLUSIÓN

La ciencia ha tenido una enorme influencia en la conformación de las dimensiones materiales, técnicas, religiosas y culturales del mundo moderno, y ha sido moldeada, a su vez, por estos aspectos sociales. La ciencia moderna es una de las grandes hazañas de la raza humana. Gracias a ella tenemos atisbos de la composición de los cuerpos más grandes y más diminutos del mundo que nos rodea y entendemos cada vez más sobre nuestros cuerpos, nuestros cerebros, nuestra salud y sobre el medio ambiente y las otras especies con las que lo compartimos. El propósito profesional de la enseñanza de la ciencia es presentarle a los alumnos los terrenos conceptuales y procedimentales de la ciencia. Se ha argumentado que la historia de la ciencia facilita esta tarea, pero también tiene un propósito más ambicioso: ayudar a los alumnos a que aprendan sobre la ciencia: sobre sus métodos en continua transformación, sus formas de organización, sus métodos de verificación, sus interrelaciones con el resto de la cultura, etc. Se ha dicho que todo esto requiere acercamientos contextuales e históricos a la enseñanza de la ciencia.

La función integradora de la historia es, tal vez, su rasgo más relevante para la enseñanza de la ciencia. La historia permite relacionar entre sí temas de una misma disciplina que pueden parecer inconexos, por ejemplo, el análisis que hizo Einstein del movimiento browniano para confirmar la hipótesis atómica y los intentos de Brown por probar el vitalismo en biología, y tal vez incluso el trabajo botánico de Brown durante las primeras exploraciones de Australia. La historia también establece conexiones entre asuntos que pertenecen a distintas disciplinas: el desciframiento del código genético conectó la geología, la cristalografía, la química y la biología molecular. El estudio de la historia revela las interconexiones entre diferentes áreas del conocimiento; por ejemplo, las matemáticas, la filosofía, la teología y la física desempeñaron cada una su papel en el desarrollo de la mecánica newtoniana. La teoría de Darwin dependió de que se hicieran avances en geología, botánica, química, zoología, filosofía, teología y genética. Finalmente, la historia permite apreciar en cierta medida las interconexiones de las áreas del conocimiento académico con los factores económicos, sociales y culturales. La teoría evolutiva darwiniana se vio afectada, y afectó, a su vez, la religión, la literatura, la teoría política y las prácticas educativas. La presentación histórica puede entretejer toda clase de temas al parecer separados en hebras interdisciplinarias y tejer esas hebras en forma de un tapiz intelectual. Ayudar a los alumnos a desarrollar este tejido es una preocupación central de la educación liberal. La importancia cultural de la enseñanza de la ciencia se consuma, en parte, en la medida en que le permite a los alumnos contemplar el panorama de la interconexión de los logros humanos (Suchting, 1994).

Como sucede con la mayor parte de los temas educativos, los maestros son la clave para que prospere una enseñanza histórica de la ciencia. Para ello los maestros tiene que estar interesados en la ciencia y capacitados para enseñarla a un nivel adecuado. Si están

lo suficientemente preparados y cuentan con los recursos adecuados, la historia contribuirá, de diversas maneras, formales e informales, planeadas y espontáneas, a cumplir los objetivos profesionales y culturales de la enseñanza de la ciencia; si no lo están, legislar para su inclusión, o añadirla a los planes de estudio, tendrá poco efecto. Como se ha dicho repetidamente, los buenos maestros pueden rescatar hasta el peor plan de estudios, y los malos maestros pueden destruir hasta el mejor.

AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1989), *Project 2061: Science for All Americans,* Washington, D. C., AAAS. Reeditado por Oxford University Press, 1990.

Adler, M. J. (1978), *Aristotle for Everybody,* Nueva York, Macmillan.

Althusser, I. (1969), *For Marx,* Harmondsworth, Penguin.

Andersen, H. (2000), "Learning by ostension: Thomas Kuhn on science education", *Science & Education,* vol. 91, núms. 1-2, pp. 91-106.

Andreou, C., y A. Raftopoulos (2011), "Lessons from the history of the concept of the ray for teaching geometrical optics", *Science & Education,* vol. 20, núm. 10, pp. 1007-1037.

ASE (Association for Science Education) (1963), *Training of Graduate Science Teachers,* Hatfield, ASE.

———— (1979), *Alternatives for Science Education,* Hatfield, ASE.

———— (1981), *Education Through Science,* Hatfield, ASE.

Bachelard, G. (1934/1984), *The New Scientific Spirit,* Boston, Beacon Books.

Banks, F., J. Leach y B. Moon (2005), "Extract from new understandings of teachers' pedagogic knowledge 1", *The Curriculum Journal,* vol. 16, núm. 3, pp. 331-340.

Besson, U. (2013), "Historical scientific models and theories as resources for learning and teaching: The case of friction", *Science & Education,* vol. 22, núm. 5, pp. 1001-1042.

———— (2014), "Teaching about termal phenomena and thermodynamics: The contribution of the history and philosophy of science", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 245-283.

Beyerchen, A. D. (1977), *Scientists under Hitler: Politics and the Physics Community in the Third Reich,* New Haven, Yale University Press.

Binnie, A. (2001), "Using the history of electricity and magnetism to enhance teaching", *Science & Education,* vol. 10, núm. 4, pp. 379-389.

Block, N. J. (coord.) (1980), *Readings in Philosophy of Psychology,* vol. 1, Cambridge, Harvard University Press.

Brock, W. H. (1989), "History of science in British schools: Past, present and future", en M. Shortland y A. Warwick (coords.), *Teaching the History of Science,* Oxford, Basil Blackwell, pp. 30-41.

Brown, H. I. (1976), "Galileo, the elements, and the tides", *Studies in History and Philosophy of Science,* vol. 7, núm. 4, pp. 337-351.

Brush, S. G. (1969), "The role of history in the teaching of physics", *The Physics Teacher,* vol. 7, núm. 5, pp. 271-280.

——— (1974), "Should the history of science be rated X?", *Science,* núm. 183, pp. 1164-1172.
——— (1989), "History of science and science education", *Interchange,* vol. 20, núm. 2, pp. 60-70.
Brush, S. G., y A. L. Y. King (coords.) (1972), *History in the Teaching of Physics,* Hanover, University Press of New England.
Burian, R. M. (2013), "On gene concepts and teaching genetics: Episodes from classical genetics", *Science & Education,* vol. 22, núm. 2, pp. 325-344.
Carey, S. (2009), *The Origin of Concepts,* Oxford, Oxford University Press.
Carr, E. H. (1964), *What Is History?,* Harmondsworth, Penguin. [Hay edición en español: *¿Qué es la historia?,* Madrid, Ariel, 2010.]
Cartwright, J. (2004), *The Discovery of Oxygen: Student Guide,* Reino Unido, Department of Chemistry, University of Chester.
Chamizo, J. A. (2007), "Teaching modern chemistry through recurrent historical teaching models", *Science & Education,* vol. 16, núm. 2, pp. 197-216.
Chang, H. (2010), "How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: The cases of boiling water and electrochemistry", *Science & Education,* vol. 20, núms. 3-4, pp. 317-341.
Coelho, R. L. (2007), "The law of inertia: How understanding its history can improve physics teaching", *Science & Education,* vol. 16, núm. 9, pp. 955-974.
——— (2009), "On the concept of energy: How understanding its history can improve physics teaching", *Science & Education,* vol. 18, núm. 8, pp. 961-983.
Cohen, I. B. (1950), "A sense of history in science", *American Journal of Physics,* vol. 18, pp. 343-359. Reimpreso en *Science & Education,* vol. 2, núm. 3, pp. 251-277, 1993.
——— (1961), *The Birth of a New Physics,* Londres, Heineman. [Hay edición en español: *El nacimiento de una nueva física,* Madrid, Alianza Editorial, 1989.]
Cohen, R. S., y T. Schnelle (1986), *Cognition and Fact: Materials on Ludwick Fleck,* Dordrecht, Reidel.
Conant, J. B. (1947), *On Understanding Science,* New Haven, Yale University Press.
——— (coord.) (1948), *Harvard Case Histories in Experimental Science,* 2 vols., Cambridge, Harvard University Press.
——— (1951), *Science and Common Sense,* New Haven, Yale University Press. [Hay edición en español: *La ciencia y el sentido común,* Buenos Aires, Editorial Guillermo Kraft, 1953.]
Cotignola, M. I., C. Bordogna, G. Punte y O. M. Cappannini (2002), "Difficulties in learning thermodynamics concepts: Are they linked to the historical development of this field?", *Science & Education,* vol. 11, pp. 279-291.

De Berg, K. C. (2008), “The concepts of heat and temperature: The problem of determining the content for the construction of an historical case study which is sensitive to nature of science issues and teaching-learning issues”, *Science & Education,* vol. 17, pp. 75-114.

DeBoer, G. E. (2014), “Joseph Schwab: His work and his legacy”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 2433-2458.

Desmond, A., y J. Moore (1992), *Darwin: The Life of a Tormented Evolutionist,* Londres, Penguin Books.

Dijksterhuis, E. J. (1961/1986), *The Mechanization of the World Picture,* Princeton, Princeton University Press.

DiSessa, A. A., y B. L. Sherin (1998), “What changes in conceptual change?”, *International Journal of Science Education,* vol. 20, núm. 10, pp. 1155-1191.

Dolphin, G., y J. Dodick (2014), “Teaching controversies in Earth science: The role of history and philosophy of science”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 553-599.

Drake, S. (1978), *Galileo at Work,* Chicago, University of Chicago Press.

Duit, R. (2009), *Bibliography – stcse.* Disponible en <www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>.

Dunst, B., y A. Levine (2014), “Conceptual change: Analogies great and small, and the quest for coherence”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1345-1361.

Ekstig, B. (1990), “Teaching guided by the history of science: The discovery of atmospheric pressure”, en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy, and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto, OISE Press, pp. 127-213.

El-Hani, C. N. *et al.* (2014), “The contribution of history and philosophy to the problema of hybrid views about genes in genetics teaching”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 469-520.

Fauvel, J. (coord.) (1990), *History in the Mathematics Classroom,* Leicester, The Mathematical Association.

Finocchiaro, M. A. (1980), “A symposium on the use of the history of science in the science curriculum”, *Journal of College Science Teaching,* vol. 10, núm. 1, pp. 14-33.

Fitzpatrick, F. (coord.) (1960), *Policies for Science Education,* Nueva York, Teachers College, Columbia University.

Fleck, L. (1935/1979), *Genesis and Development of a Scientific Fact,* editado por T. J. Trenn y R. K. Merton, Chicago, University of Chicago Press. [Hay edición en español: *La génesis y el desarrollo de un hecho científico,* Madrid, Alianza Editorial, 1987.]

Ford, G. W., y L. Pugno (coords.) (1964), *The Structure of Knowledge and the Curriculum,* Chicago, Rand McNally. [Hay edición en español: *La educación y la estructura del conocimiento,* Buenos Aires, El Ateneo, 1973.]

Franco, C., y D. Colinvaux-de-Dominguez (1992), "Genetic epistemology, history of science, and science education", *Science & Education,* vol. 1, núm. 3, pp. 255-272.

Fuller, S. (2000), "From Conant's education strategy to Kuhn's research strategy", *Science & Education,* vol. 9, núms. 1-2, pp. 21-37.

Galili, I. (2014), "Teaching optics: A historico-philosophical perspective", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 97-128.

Galili, I., y A. Hazan (2001), "The effect of a history-based course in optics on students' views about science", *Science & Education,* vol. 10, núms. 1-2, pp. 7-32.

Garritz, A. (2013), "Teaching the philosophical interpretations of quantum mechanics and quantum chemistry through controversies", *Science & Education,* vol. 22, núm. 7, pp. 1787-1807.

Gascoigne, J. (2007), "Getting a fix", *Isis,* vol. 98, núm. 4, pp. 769-778.

Gauld, C. F. (1992), "Wilberforce, Huxley and the use of history in teaching about evolution", *The American Biology Teacher,* vol. 54, núm. 7, pp. 406-410.

———— (1998), "Solutions to the problem of impact in the 17th and 18th centuries and teaching Newton's third law today", *Science & Education,* vol. 7, núm. 1, pp. 49-67.

Gillham, N. W. (2001), *A Life of Sir Francis Galton: From African Exploration to the Birth of Eugenics,* Oxford, Oxford University Press.

Gopnik, A. (1996), "The scientist as child", *Philosophy of Science,* vol. 63, núm. 4, pp. 485-514.

Graham, L. R. (1973), *Science and Philosophy in the Soviet Union,* Nueva York, Alfred A. Knopf. [Hay edición en español: *Ciencia y filosofía en la Unión Soviética,* Madrid, Siglo Veintiuno Editores, 1976.]

Greca, I. M., y O. Friere Jr. (2014), "Meeting the challenge: Quantum physics in introductory physics courses", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 183-209.

Gulikers, I., y K. Blom (2001), "A historical angle: A survey of recent literature on the use and value of history in geometrical education", *Educational Studies in Mathematics,* vol. 47, pp. 223-258.

Guttin, G. (coord.) (1980), *Paradigms and Revolutions: Applications and Appraisals of Thomas Kuhn's Philosophy of Science,* Notre Dame, University of Notre Dame.

Heilbron, J. L. (1986), *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science,* Berkeley, University of California Press.

———— (2010), *Galileo,* Oxford, Oxford University Press.

Hershberg, J. G. (1993), *James B. Conant: Harvard to Hiroshima and the Making of the Nuclear Age,* Nueva York, Knopf.

Hogg, J. C. (1938), *Introduction to Chemistry,* Nueva York, Oxford University Press.

Holmyard, E. J. (1924), *The Teaching of Science,* Londres, Bell.

———— (1925), *An Elementary Chemistry,* Londres, Edward Arnold.

Holton, G. (1952), *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science,* Princeton, Princeton University Press (2ª ed., revisada con S. G. Brush, 1985; 3ª ed., *Physics the Human Adventure,* 2001). [Hay edición en español: *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas,* Barcelona, Reverté, 1996.]

———— (1975), "Science, science teaching and rationality", en S. Hook, P. Kurtz y M. Todorovich (coords.), *The Philosophy of the Curriculum,* Búfalo, Prometheus Books, pp. 101-118.

———— (1978), "On the educational philosophy of the Project Physics Course", en *The Scientific Imagination: Case Studies,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 284-298. [Hay edición en español: *La imaginación científica,* México, Fondo de Cultura Económica, 1985.]

———— (2003), "The Project Physics Course: Then and now", *Science & Education,* vol. 12, núm. 8, pp. 779-786.

Hong, H.-Y., y X. Lin-Siegler (2012), "How learning about scientists' struggles influences students' interest and learning in physics", *Journal of Educational Psychology,* vol. 104, pp. 469-484.

Hurd, P. D. (1958), "Science literacy: Its meaning for American schools", *Educational Leadership,* vol. 16, pp. 13-16.

Jaffe, B. (1938), "The history of chemistry and its place in the teaching of chemistry", *Journal of Chemical Education,* vol. 15, pp. 383-389.

———— (1942), *New World of Chemistry,* Nueva York, Silver Burdett. Ediciones revisadas en 1947, 1952, 1955, 1959 y 1964. [Hay edición en español: *La química crea un nuevo mundo,* Buenos Aires, Eudeba, 1967.]

———— (1955), "Using the history of chemistry in our teaching", *Journal of*

Chemical Education, vol. 32, pp. 183-185.

Jamieson, A., y G. Radick (2013), "Putting Mendel in his place: How curriculum reform in genetics and counterfactual history of science can work together", en K. Kampourakis (coord.), *The Philosophy of Biology: A Companion for Educators,* Dordrecht, Springer, pp. 577-595.

Jastrzebski, A. (2012), "Towards a better understanding of the philosophy of psychology", *History and Philosophy of Psychology,* vol. 14, núm. 1, pp. 13-33.

Jenkins, E. W. (1979), *From Armstrong to Nuffield,* Londres, John Murray.

———— (1990), "History of science in schools: Retrospect and prospect in the UK", *International Journal of Science Education,* vol. 12, núm. 3, pp. 274-281. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto, OISE Press, 1991, pp. 33-42.

———— (1998), "The Association for Science Education and the struggle to establish a policy for school science in England and Wales, 1976-81", *History of Education,* vol. 27, núm. 4, pp. 441-459.

Jensen, M. S., y F. N. Finley (1995), "Teaching evolution using historical arguments in a conceptual change strategy", *Science Education,* vol. 79, núm. 2, pp. 147-166.

Jung, W. (1983), "Toward preparing students for change: A critical discussion of the contribution of the history of physics to physics teaching", en F. Bevilacqua y P. J. Kennedy (coords.), *Using History of Physics in Innovatory Physics Education,* Pavía, Universidad de Pavía, pp. 6-57. Reimpreso en *Science & Education,* vol. 3, núm. 2, pp. 99-130, 1994.

Kalman, C. S. (2009), "A role for experiment in using the law of inertia to explain the nature of science: A comment on Lopes Coelho", *Science & Education,* vol. 18, núm. 1, pp. 25-31.

Kampourakis, K. (2013), "Teaching about adaptation: Why evolutionary history matters", *Science & Education,* vol. 22, núm. 2, pp. 173-188.

Kauffman, G. B. (1989), "History in the chemistry curriculum", *Interchange,* vol. 20, núm. 2, pp. 81-94. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto, OISE Press, pp. 185-200.

Kindi, V. (2005), "Should science teaching involve the history of science? An assesment of Kuhn's view", *Science & Education,* vol. 14, núms. 7-8, pp. 721-731.

Kipnis, N. (1992), *Rediscovering Optics,* Mineápolis, BENA Press.

Kitchener, P. (1988a), *Piaget's Theory of Knowledge: Genetic Epistemology and Scientific Reason,* New Haven, Yale University Press.

Kitcher, P. (1988b), "The child as parent of the scientist", *Mind and Language,* vol. 3, núm. 3, pp. 217-228.

Klein, M. J. (1972), "Use and abuse of historical teaching in physics", en S. G. Brush y A. L. King (coords.), *History in the Teaching of Physics,* Hanover, University Press of New England, pp. 12-18.

Klopfer, L. E. (1964-1966), *History of Science Cases,* Chicago, Science Research Associates.

———— (1969a), "The teaching of science and the history of science", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 6, pp. 87-95.

———— (1969b), *Case Histories and Science Education,* San Francisco, Wadsworth Publishing.

———— (1990), "Scientific literacy", en *The International Encyclopedia of Curriculum,* Oxford, Pergamon Press.

———— (1992), "An historical perspective on the history and nature of science in school science programs", en R. Bybee, J. D. Ellis, J. R. Giese y L. Parisi (coords.), *Teaching About the History and Nature of Science and Technology: Background Papers,* Colorado Springs, BSCS/ssec, pp. 105-130.

Klopfer, L. E., y W. W. Cooley (1961), *The Use of Case Histories in the Development of Student Understanding of Science and Scientists,* Cambridge, Graduate School of Education, Harvard University.

———— (1963), "Effectiveness of the history of science cases for high schools in the development of student understanding of science and scientists", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 1, pp. 35-47.

Klopfer, L. E., y F. G. Watson (1957), "Historical materials and high school science teaching", *The Science Teacher,* vol. 24, pp. 264-265, 292-293.

Kokkotas, P. V., K. S. Malamitsa y A. A. Rizaki (coords.) (2011), *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom,* Roterdam, Sense Publishers.

Kragh, H. (1986), "Physics and history: Noble lies or inmoral truths?", en P. V. Thomsen (coord.), *Science Education and the History of Physics,* Aarhus, Universidad de Aarhus, pp. 70-76.

———— (1987), *An Introduction to the Historiography of Science,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *Introducción a la historia de la ciencia,* Barcelona, Crítica, 1989.]

———— (1992), "A sense of history: History of science and the teaching of the introductory quantum theory", *Science & Education,* vol. 1, núm. 4, pp. 349-364.

Kuhn, T. S. (1957), *The Copernican revolution,* Nueva York, Random House. [Hay edición en español: *La revolución copernicana. La astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental,* Barcelona, Ariel, 1996.]

Kuhn, T. S. (1959), “The essential tension: Tradition and innovation in scientific research”, *The Third University of Utah Research Conference on the Identification of Scientific Talent,* Salt Lake City, University of Utah Press. Reimpreso en *The Essential Tension,* Chicago, University of Chicago Press, pp. 225-239. [Hay edición en español: *La tensión esencial: Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia,* México, Fondo de Cultura Económica, 1982.]

———— (1970), *The Structure of Scientific Revolutions,* 2ª ed., Chicago, Chicago University Press (1ª ed., 1962). [Hay edición en español: *La estructura de las revoluciones científicas,* México, Fondo de Cultura Económica, 2013.]

———— (1991/1977), “Concepts of cause in the development of physics”, en *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition,* Chicago, University of Chicago Press, pp. 21-30. [Hay edición en español: *La tensión esencial: Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia,* México, Fondo de Cultura Económica, 1982.]

Lakatos, I. (1971), “History of science and its rational reconstructions”, en R. C. Buck y R. S. Cohen (coords.), *Boston Studies in the Philosophy of Science,* vol. 8, pp. 91-135.

Lakatos, I., y A. Musgrave (coords.) (1970), *Criticism and the Growth of Knowledge,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *La crítica y el desarrollo del conocimiento: Actas del Coloquio Internacional de Filosofía de la Ciencia celebrado en Londres en 1965,* Madrid, Grijalbo, 1975.]

Lennox, J. G., y K. Kampourakis (2013), “Biological teleology: The need for history”, en K. Kampourakis (coord.), *The Philosophy of Biology: A Companion for Educators,* Dordrecht, Springer, pp. 421-454.

Leone, M. (2014), “History of physics as a tool to detect the conceptual difficulties experienced by students: The case of simple electric circuits in primary education”, *Science & Education,* vol. 23, núm. 4, pp. 923-925.

Levrini, O. (2014), “The role of history and philosophy in research on the teaching and learning of relativity”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 157-181.

Limón, M., y L. Mason (coords.) (2002), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice,* Nowell, Kluwer Academic Publishers.

Mach, E. (1883/1960), *The Science of Mechanics,* LaSalle, Open Court Publishers.

———— (1886/1986), “On instruction in the classics and in the sciences”, en *Popular Scientific Lectures,* LaSalle, Open Court Publishing, pp. 338-374.

Mansell, A. E. (1976), “Science for all”, *School Science Review,* vol. 57, pp. 579-

585.
Matthews, M. R. (coord.) (1989), *The Scientific Background to Modern Philosophy,* Indianápolis, Hackett Publishing Company.
———— (2000a), "Thomas Kuhn and science education", número monográfico, *Science & Education,* vol. 9, núms. 1-2.
———— (2000b), *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy,* Nueva York, Kluwer Academic Publishers.
Matthews, M. R. (2004), "Thomas Kuhn and science education: What lessons can be learnt?", *Science Education,* vol. 88, núm. 1, pp. 90-118.
Mayr, E. (1982), *The Growth of Biological Thought,* Cambridge, Harvard University Press.
McGrath, E. (coord.) (1948), *Science in General Education,* Dubuque, W. C. Brown.
Middleton, W. E. K. (1964), *A History of the Barometer,* Baltimore, Johns Hopkins University Press.
Mihas, P., y P. Andreadis (2005), "A historical aproach to the teaching of the linear propagation of light, shadows and pinhole cameras", *Science & Education,* vol. 14, núms. 7-8, pp. 675-697.
Millikan, R. A. (1950), *Autobiography,* Nueva York, Prentice Hall.
Moody, E. A. (1951), "Galileo and Avempace: The dynamics of the leaning tower experiment", *Journal of the History of Ideas,* vol. 12, pp. 163-193, 375-422. Reimpreso en *Studies in Medieval Philosophy, Science and Logic,* Berkeley, University of California Press, 1975, pp. 203-286.
Nersessian, N. J. (1989), "Conceptual change in science and in science education", *Synthese,* vol. 80, núm. 1, pp. 163-184. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto, OISE Press, 1991.
———— (2003), "Kuhn, conceptual change and cognitive science", en T. Nickles (coord.), *Thomas Kuhn,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 178-211.
Neugebauer, O. (1969), *The Exact Sciences in Antiquity,* 2ª ed., Nueva York, Dover.
NSSE (National Society for the Study of Education) (1960), *Rethinking Science Education. 59th Yearbook,* Chicago, Chicago University Press.
Nye, M. J. (1975), "The moral freedom of man and the determinism of nature: The catholic synthesis of science and history in the *Revue des Questions Scientifiques", British Journal for the History of Science,* vol. 8, pp. 274-292.
Oppe, G. (1936), "The use of chemical history in the high school", *Journal of Chemical Education,* vol. 13, pp. 412-414.

Padilla, K., y C. Furio-Mas (2008), "The importance of history and philosophy of science in correcting distorted views of 'amount of substance' and 'mole' concepts in chemistry teaching", *Science & Education,* vol. 17, núm. 4, pp. 403-424.

Pais, A. (1982), *Subtle is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein,* Nueva York, Oxford University Press. [Hay edición en español: "*El señor es sutil…" La ciencia y la vida de Albert Einstein,* Barcelona, Ariel, 1984.]

———— (1991), *Neils Bohr's Times, in Physics, Philosophy, and Polity,* Oxford, Clarendon Press.

Panagiotou, E. V. (2011), "Using history to teach mathematics: The case of logarithms", *Science & Education,* vol. 20, núm. 1, pp. 1-35.

Paul, H. (1979), *The Edge of Contingency: French Catholic Reaction to Scientific Change for Darwin to Duhem,* Gainesville, University of Florida Press.

Pflaum, R. (1989), *Grand Obsession: Madame Curie and Her World,* Nueva York, Doubleday.

Piaget, J. (1970), *Genetic Epistemology,* Nueva York, Columbia University Press. [Hay edición en español: *La epistemología genética,* Barcelona, Debate, 1986.]

Piaget, J., y R. García (1989), *Psychogenesis and the History of Science,* Nueva York, Columbia University Press.

Posner, G. J., K. A. Strike, P. W. Hewson y W. A. Gertzog (1982), "Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change", *Science Education,* vol. 66, núm. 1, pp. 211-227.

PSSC (Physical Science Study Committee) (1960), *Physics,* Boston, D. C. Heath.

Pumfrey, S. (1987), "The concept of oxygen: Using history of science in science teaching", en M. Shortland y A. Warwick (coords.), *Teaching the History of Science,* Oxford, Basil Blackwell, pp. 142-155.

Ryan, J. (1992), "Finding generalizable strategies in scientific theory debates", en S. P. Norris (coord.), *The Generalizability of Critical Thinking: Multiple Perspectives on an Educational Ideal,* Nueva York, Teachers College Press.

Sammis, J. H. (1932), "A plan for introducing biographical material into science courses", *Journal of Chemical Education,* vol. 9, pp. 900-902.

Schecker, H. (1992), "The paradigmatic change in mechanics: Implications of historical processes on physics education", *Science & Education,* vol. 1, núm. 1, pp. 71-76.

Schilpp, P. A. (coord.) (1951), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist,* 2ª ed., Nueva York, Tudor.

Schmitt, C. B. (1967), "Experimental evidence for and against a void: The sixteenth-century arguments", *Isis,* vol. 58, pp. 352-366.

Schwab, J. J. (1949), “The nature of scientific knowledge as related to liberal education”, *Journal of General Education,* vol. 3, pp. 245-266. Reimpreso en I. Westbury y N. J. Wilkof (coords.), *Joseph J. Schwab: Science, Curriculum, and Liberal Education,* Chicago, University of Chicago Press.

———— (1950), “The natural sciences: The three year programme”, en University of Chicago Faculty, *The Idea and Practice of General Education,* Chicago, University of Chicago Press.

———— (1963), *Biology Teacher's Handbook,* Nueva York, Wiley.

Seroglou, F., y P. Koumaras (2001), “The contributions of the history of physics in physics education: A review”, *Science & Education,* vol. 10, núms. 1-2, pp. 153-172.

Shapere, D. (1964), “The structure of scientific revolutions”, *Philosophical Review,* vol. 73, pp. 383-394.

Shapin, S., y S. Schaffer (1985), *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life,* Princeton, Princeton University Press. [Hay edición en español: *El Leviathan y la bomba de vacío. Hobbes, Boyle y la vida experimental,* Bernal, Editorial de la Universidad de Quilmes, 2005.]

Shea, W. R. (1970), “Galileo's claim to fame: The proof that the Earth moves from the evidence of the tides”, *British Journal for the History of Science,* vol. 5, pp. 111-127.

Sherratt, W. J. (1983), “History of science in the science curriculum: An historical perspective”, *School Science Review,* vol. 64, pp. 225-236, 418-424.

Shimony, A. (1976), “Comments on two epistemological theses of Thomas Kuhn”, en R. S. Cohen, P. K. Feyerabend y M. W. Wartosfky (coords.), *Essays in Memory of Imre Lakatos,* Dordrecht, Reidel, pp. 569-588.

Shulman, L. S. (1986), “Those who understand: Knowledge growth in teaching”, *Educational Researcher,* vol. 15, núm. 2, pp. 4-14.

———— (1987), “Knowledge and teaching: Foundations of the New Reform”, *Harvard Educational Review,* vol. 57, núm. 1, pp. 1-22.

Sibum, H. O. (1988), “The beginning of electricity: Social and scientific origins and experimental setups”, en C. Blondel y P. Brouzeng (coords.), *Science Education and the History of Physics,* París, Université Paris-Sud, pp. 139-146.

Siegel, H. (1978), “Kuhn and Schwab on science texts and the goals of science education”, *Educational Theory,* vol. 28, pp. 302-309.

———— (1979), “On the distortion of the history of science in science education”, *Science Education,* vol. 63, pp. 111-118.

Snow, C. P. (1963), *The Two Cultures: A Second Look,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *Las dos culturas,* Buenos Aires,

Nueva Visión, 2009.]
Sobel, D. (1994), *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time,* Nueva York, Walker Publishing. [Hay edición en español: *Longitud,* Barcelona, Anagrama, 2006.]
Solomon, J. (1989), *The Big Squeeze,* Hatfield, Association for Science Education.
Stinner, A., B. McMillan, D. Metz, J. Jilek y S. Klassen (2003), "The renewal of case studies in science education", *Science & Education,* vol. 12, pp. 617-643.
Strauss, S. (coord.) (1988), *Ontogeny, Philogeny and Historical Development,* Norwood, Ablex.
Strike, K. A., y G. J. Posner (1992), "A revisionist theory of conceptual change", en R. Duschl y R. Hamilton (coords.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychoogy, and Educational Theory and Practice,* Albany, State University of New York Press, pp. 147-176.
Suchting, W. A. (1994), "Notes on the cultural significance of the sciences", *Science & Education,* vol. 3, núm. 1, pp. 1-56.
Villani, A., y S. M. Arruda (1998), "Special theory of relativity, conceptual change and history of science", *Science & Education,* vol. 7, núm. 1, pp. 85-100.
Vosniadou, S. (2013), "Conceptual change in learning and instruction: The framework theory approach", en S. Vosniadou (coord.), *The International Handbook of Conceptual Change,* 2ª ed., Nueva York, Routledge, pp. 11-30.
Wandersee, J. H. (1985), "Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions?", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 23, núm. 7, pp. 581-597.
Wandersee, J. H., y L. M. Roach (1998), "Interactive historical vignettes", en J. J. Mintzes, J. H. Wandersee y J. D. Novak (coords.), *Teaching Science for Understanding. A Human Constructivist View,* San Diego, Academic Press, pp. 281-306.
West, L. H. T., y A. L. Pines (coords.) (1985), *Cognitive Structure and Conceptual Change,* Nueva York, Academic Press.
Westbury, I., y N. J. Wilkof (coords.) (1978), *Joseph J. Schwab: Science, Curriculum, and Liberal Education,* Chicago, University of Chicago Press.
Westfall, R. S. (1980), *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton,* Cambridge, Cambridge University Press.
Whewell, W. (1855), "On the influence of the history of science upon intelectual education", en *Lectures on Education Delivered at the Royal Institution on Great Britain,* Londres, J. W. Parker.
Whitaker, M. A. B. (1979), "History & quasi-history in physics education pts I, II", *Physics Education,* vol. 14, pp. 108-112, 239-242.

Yager, R. E., y J. E. Penick (1987), “Resolving the crisis in science education: Understanding before resolution”, *Science Education,* vol. 71, núm. 1, pp. 49-55.

Zinn, H. (1999), *A People's History of the United States 1492-Present,* 2ª ed., Nueva York, Harper Collins. [Hay edición en español: *La otra historia de los Estados Unidos,* Nueva York, Seven Stories Press, 2011.]

V. LA FILOSOFÍA EN LA CIENCIA Y EN LAS AULAS DE CIENCIA

Siempre que se enseña ciencia también se enseña filosofía: se transmiten mensajes, explícitos o implícitos, sobre epistemología, ontología, ética, razonamiento plausible, argumentación y otros temas filosóficos, incluidas la religión y la estética. En este capítulo examinaremos algunas de las formas en las que la filosofía en la enseñanza de la ciencia se ha hecho, y puede hacerse, más evidente. Se argumentará que hacer más explícita la filosofía contribuye a alcanzar las metas de una buena educación científica técnica —los alumnos entenderán mejor el tema y serán más competentes para el razonamiento científico— y, al mismo tiempo, permite transmitir en cierta medida la dimensión cultural y epistemológica general de la ciencia. Esta reflexión puede extenderse a la enseñanza de la historia, las matemáticas, la geografía, la economía y la mayor parte de las disciplinas escolares: tienen dimensiones filosóficas y casi todas pueden aclararse y acometerse desde una disposición filosófica.

Separar la enseñanza de la ciencia de la filosofía produce una enseñanza de la ciencia distorsionada. Desde los antiguos griegos hasta hoy, la ciencia ha estado entretejida con la filosofía: la ciencia, la metafísica, la lógica y la epistemología han sido inseparables. La mayor parte de los grandes científicos —Demócrito, Aristóteles, Copérnico, Galileo, Descartes, Newton, Leibniz, Boyle, Faraday, Darwin, Mach, Einstein, Planck, Heisenberg, Schrödinger— eran a la vez filósofos. A principios del siglo XX, el teólogo alemán Adolf von Harnack comentó que "La gente se queja de que no hay filósofos en nuestra generación. Esto es muy injusto: lo que sucede es que los filósofos actuales se sientan en otro departamento, y sus nombres son Planck y Einstein" (Scheibe, 2000, p. 31).

A pesar de las revoluciones, los cambios de paradigma, la comercialización y muchos otros temas, la ciencia contemporánea, y muy especialmente la ciencia escolar contemporánea, es una continuación de la nueva ciencia de Galileo y Newton, y concita la misma gama de preguntas filosóficas: la ciencia y la filosofía siguen viajando de la mano.[1] Peter Bergmann lo expresó cuando dijo que había aprendido de Einstein que "el físico teórico [...] es un filósofo que viste de overol" (Bergmann, 1949, p. v, citado en Shimony, 1983, p. 209).[2] Un estudioso del trabajo de Niel Bohr observó que: "Para Bohr, la nueva teoría [la teoría cuántica] no sólo era una maravillosa obra de la física; también era una cámara del tesoro filosófica que contenía, en una forma nueva, las ideas con las que había soñado en su juventud" (Petersen, 1985, p. 300).

La mayoría de los físicos de los siglos XIX y XX escribieron libros sobre filosofía y las cautivadoras superposiciones que existen entre ciencia y filosofía.[3] Muchos físicos menos conocidos también escribieron libros de este tipo en los que exploraron nuestras relaciones entre el trabajo científico y la ontología, la epistemología y la ética que presupone y para la cual tiene implicaciones.[4] Y no sólo fueron los físicos: muchos químicos y biólogos hicieron sus propias contribuciones al género.[5]

Por supuesto, esto no equivale a decir que todos estos excelentes científicos escribieron buena filosofía o derivaron conclusiones sólidas a partir de sus experiencias en ciencia: algunos lo hicieron, otros no.[6] El asunto no es que los científicos fueran buenos filósofos, sino que todos estaban "filosofizados": todos reflexionaban sobre su disciplina y su actividad, y entendían de qué modo esta reflexión incidía en las pequeñas y grandes preguntas de la filosofía. Esto da sustento al argumento de que la filosofía es inevitable para hacer buena ciencia;[7] también debería sugerir que la filosofía es inevitable para hacer buena enseñanza de la ciencia.

En su emblemático estudio *The Idea of Nature* [La idea de naturaleza], el filósofo e historiador de Oxford R. G. Collingwood (1889-1943) escribió sobre la historia de la

dependencia mutua entre la ciencia y la filosofía, y comentó:

> El estudio detallado de los hechos naturales suele llamarse ciencia natural, o sencillamente ciencia, para abreviar; la reflexión sobre los principios, ya sean los de la ciencia natural o los de cualquier otro departamento del pensamiento o de la acción, suele llamarse filosofía […] pero ambas cosas están tan estrechamente relacionadas que la ciencia natural no puede extenderse muy lejos sin que comience la filosofía; y que la filosofía reacciona hacia la ciencia a partir de la cual emergió al darle, en el futuro, una nueva firmeza y consistencia que resulta de la nueva conciencia del científico de los principios sobre los cuales ha estado trabajando [Collingwood, 1945, p. 2].

Continúa diciendo que:

> Por esta razón no puede ser correcto que la ciencia natural se asigne exclusivamente a una clase de personas llamadas científicos y la filosofía a otra clase llamados filósofos. Un hombre que jamás ha reflexionados sobre los principios de su trabajo no ha alcanzado una actitud adulta hacia él; un científico que jamás ha reflexionado filosóficamente sobre su ciencia nunca podrá ser más que un científico obrero, de segunda mano, de imitación [Collingwood, 1945, p. 2].

Lo que Collingwood dice sobre la necesidad de "reflexionar sobre los principios" para practicar adecuadamente la ciencia también puede decirse sobre la práctica de la buena enseñanza de la ciencia. La educación liberal promueve justamente esta clase de reflexiones profundas y la necesidad de entender el significado de los conceptos, leyes o metodologías básicos de cualquier disciplina que se enseñe, como las matemáticas, la historia, la economía, la teología y también la ciencia.

En la disciplina científica emergen de manera natural problemas metafísicos. Los estudios históricos revelan la interdependencia entre la ciencia y la metafísica. La controversia galileana/aristotélica sobre las causas finales, la controversia galileana/kepleriana sobre la teoría lunar de las mareas, la discusión newtoniana/cartesiana sobre la acción a distancia, la discusión newtoniana/berkeliana sobre la existencia del espacio y el tiempo absolutos, la newtoniana/huygensiana-fresneliana sobre la teoría corpuscular de la luz, la darwiniana/paleyana sobre el diseño y la selección natural, la de Mach/Planck sobre la interpretación realista de la teoría atómica, la de Einstein/Copenhague sobre la interpretación determinista de la teoría cuántica… todas traen a colación asuntos metafísicos. La metafísica es ubicua en ciencia.[8]

Como se ha mencionado, Galileo era un ejemplo sobresaliente del científico-filósofo. Hizo contribuciones filosóficas sustanciales en diversas áreas: en ontología, con su distinción de las cualidades primarias y secundarias; en epistemología, tanto con su crítica de la autoridad como el árbitro de las afirmaciones de conocimiento, como por la subordinación de la evidencia sensible al razonamiento matemático; en metodología, con su desarrollo del método matemático-experimental, y en metafísica, con su crítica de las categorías causales aristotélicas y su rechazo de la teleología como principio explicativo.

Así pues, es desafortunado que, a pesar de sus importantes contribuciones al tema y de que casi todos los filósofos del siglo XVII y otros posteriores, como Kant y Husserl, reconocieran la influencia de Galileo sobre ellos, apenas se menciona en la mayor parte de las historias de la filosofía, y los textos sobre ciencia suelen ignorar sus intereses y contribuciones filosóficas.

La ciencia siempre se ha llevado a cabo dentro del contexto de las ideas filosóficas de la época. Esto es de esperarse. Los científicos piensan, escriben y hablan con el lenguaje y las herramientas conceptuales que tienen a la mano; por lo general, la gente que se forma opiniones está formada ella misma en circunstancias intelectuales específicas, y sus opiniones están limitadas por estas circunstancias. Newton dijo que pudo ver más allá que otros porque se paró en hombros de gigantes: sin Copérnico, Kepler y Galileo, por no mencionar la geometría de Euclides, no habría existido una teoría unificada de la mecánica terrestre y celeste. La comprensión y las aproximaciones al mundo de un científico están moldeadas por su educación y su entorno, y este entorno está imbuido por las filosofías del periodo. Desde un punto de vista objetivista, estas afirmaciones indican que la ciencia es un sistema de conceptos, definiciones, metodologías, resultados, instrumentos y organizaciones profesionales creados y desarrollados por individuos, pero que anteceden al individuo que entra en él para aprender y trabajar. Puesto que lo anterior encarna algunos supuestos filosóficos, el trabajo del científico estará modelado, a su vez, por la filosofía.[9]

Las ideas populares sobre el vínculo entre ciencia y filosofía se promueven en muchos exitosos libros de divulgación de la ciencia. Estos libros transmiten, de forma a veces más a veces menos informada, la idea básica de que la ciencia afecta y a su vez es afectada por otras disciplinas —filosofía, psicología, teología, matemáticas— y en términos generales por la visión del mundo de una cultura determinada. El extendido impacto de algunos libros contemporáneos es comparable al que disfrutaron en el periodo de entreguerras *The Nature of the Physical World* [La naturaleza del mundo físico] (1928/1978) de Arthur Eddington (1882-1944), *The Social Function of Science* [La función social de la ciencia] (1939) de J. D. Bernal (1901-1971) y *Physics and Philosophy* [La física y la filosofía] (1943/1981) de James Jeans (1877-1946). Todos estos libros fueron inmensamente influyentes y afectaron las formas de pensar y las perspectivas en la academia y más allá. En el prefacio a su libro, Jeans escribió:

> El objetivo del presente libro es muy sencillo: se trata de discutir […] ese territorio fronterizo entre la física y la filosofía que antes nos parecía tan aburrido y que de pronto se volvió tan interesante e importante gracias a los avances recientes en física teórica […] El nuevo interés va más allá de los problemas técnicos de la física y la filosofía y se adentra en preguntas que tocan muy de cerca la vida humana [Jeans, 1943/1981, p. i].

Los maestros de ciencia no necesitan "llevar al salón de clases la filosofía del exterior"; ésta ya se encuentra allí. En el nivel más básico, cualquier texto o discusión científica contendrá términos como "ley", "teoría", "modelo", "explicación", "causa", "verdad", "conocimiento", "hipótesis", "confirmación", "observación", "evidencia", "idealización", "tiempos", "espacio", "campos", "especies", "prueba", "evidencia", "masa", etc. La filosofía comienza cuando los alumnos y los maestros disminuyen el paso de la lección de ciencias y preguntan qué significan estos términos y cuáles son las condiciones para usarlos correctamente. Es fácil animar a los alumnos y los maestros a formular las preguntas estándar de los filósofos —¿qué quieres decir con…?, y ¿cómo sabes…?— acerca de todos estos conceptos. Este análisis filosófico introductorio permite apreciar mejor los diversos problemas empíricos y conceptuales en juego cuando se discuten, por ejemplo, la ley de Boyle, el modelo de Dalton o la teoría de Darwin. También fomenta el pensamiento crítico y reflexivo en general. Estas preguntas y hábitos mentales lógicos y analíticos pueden inculcarse incluso desde el preescolar —como avalan Matthew Lipman y los programas de filosofía para niños— y refinarse conforme los niños maduran.[10]

Cada tema de un plan de estudio de ciencias, desde los más evidentes como la evolución, la genética, la cosmología, la energía nuclear, la fotosíntesis, la teoría atómica o la deriva continental, hasta los menos obvios y mundanos, tales como las leyes de Newton, la oxidación y el movimiento del péndulo, pueden ser una oportunidad para iniciar una investigación histórica y filosófica provechosa. Todos los temas científicos permiten presentarles a los alumnos las nociones y procedimientos básicos de los filósofos: evidencia, hipótesis, pruebas, explicación, dependencia de la teoría, etcétera.

Consideremos la ley de la inercia y su concepto relacionado, la fuerza. La ley es la piedra angular de la física clásica, que se les enseña en la escuela a todos los alumnos. Un fragmento representativo de un libro de texto es: "Todos los cuerpos permanecen en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta a menos que una fuerza ejercida desde el exterior los obligue a cambiar ese estado" (Booth y Nicol, 1931/1962, p. 24).

Esta ley es tan contraria a la experiencia que es de esperarse que para los alumnos resulte difícil o imposible de creer; si lo hacen es sólo con propósitos de análisis y cálculo. Todos los maestros de física confirman esta expectativa día con día. Los alumnos pueden llegar a la conclusión, como lo hizo un estudiante alemán, de que "la física no se ocupa del mundo" (Schecker, 1992, p. 75). La primera ley de Newton puede "demostrarse" deslizando un disco de hockey sobre una lámina de hielo o usando una versión de la demostración de Galileo con el plano inclinado.[11] En una enseñanza de la ciencia exclusivamente técnica, la ley se aprende de memoria, y los problema se

resuelven usando la fórmula asociada $F = ma$. Los propósitos técnicos bien pueden satisfacerse mediante una memorización correcta y el dominio de las habilidades cuantitativas —"una fuerza de X newtons actúa sobre una masa de Y kilogramos: ¿qué aceleración se produce?—, pero las metas de una educación liberal no pueden cumplirse tan fácilmente. Estos alumnos merecen que se les explique en forma razonable por qué deben creer en afirmaciones contraintuitivas, y más aún en leyes siempre falsadas. A fin de cuentas, esto significa darles buenas razones para creer en el newtonianismo, y esto dependerá en alguna medida de la historia y filosofía de la ciencia. No proporcionarles o al menos sugerirles estas razones es lo mismo que hacerles creer a los alumnos de la ex Unión Soviética que "el comunismo es el mejor sistema social del mundo" a pesar de las evidencias abrumadoras en contrario.

Sólo se necesita un poco de reflexión filosófica y de investigación histórica sobre el infaltable tema de la inercia para abrir perspectivas científicas y educativas totalmente nuevas. Los filósofos naturales medievales estaban doblemente atados por la física de Aristóteles y las creencias que se desprendían de la experiencia cotidiana y que obedecían al sentido común; de hecho, la física de Aristóteles era más o menos eso, una enunciación sofisticada del sentido común. Un aristotélico contemporáneo dice que:

> Aristóteles comenzó donde todos debemos comenzar: con lo que ya sabemos, a la luz de esta experiencia común, ordinaria […] Las ideas de Aristóteles empezaron en el sentido común, pero no terminaron allí. Fueron mucho más allá. Enriquecieron y rodearon el sentido común con conocimientos e ideas que no son para nada comunes [Adler, 1978, pp. xi, xiii].

Estas ideas dieron origen al compromiso medieval con el principio de *omne quod movetur abalio movetur,* la célebre afirmación de Aristóteles, Aquino y todos los escolásticos que se traduce como: "Todo lo que se mueve es movido por otro (el motor)", y su inverso: si un motor deja de actuar, cesa el movimiento. El principio surge a partir de la experiencia cotidiana, el sentido común y la física de Aristóteles. Clagett resume así las convicciones de Aristóteles:

> Para Aristóteles, el movimiento es un proceso que tiene su origen en la acción continua de una fuente de movimiento o "motor" y una "cosa movida". La fuente de movimiento o motor es una fuerza —ya sea interna, como en el movimiento natural, o externa como en el movimiento antinatural [violento]— que durante el movimiento debe estar en contacto con la cosa movida [Clagett, 1959, p. 425].

Dado que existe movimiento en el mundo, el principio condujo a Aristóteles a postular un primer motor. Aquino y los escolásticos se apropiaron de este argumento e identificaron este primer motor con Dios.[12]

La teoría medieval del ímpetu fue una elaboración de la física aristotélica: el motor le dio a la cosa movida algo (el ímpetu) que la mantuvo en movimiento cuando el motor dejó de actuar (el caso clásico de un proyectil). Algunos, como Da Marchia, pensaron

que el ímpetu decaía en forma natural y, por lo tanto, el movimiento del proyectil cesaba eventualmente. Otros, como Buridan, pensaban que la fuerza que se transfería sólo disminuía cuando el objeto desempeñaba un trabajo, y como apartar el aire para moverse a través de él era un trabajo, el movimiento del proyectil también cesaba eventualmente. Ambas teorías eran congruentes con el fenómeno: cuando se arroja una piedra con la mano sólo avanza un tramo antes de caer al piso.[13] Galileo hizo el experimento mental de considerar la teoría de Buridan en una circunstancia en la cual no se llevara a cabo ningún trabajo, en cuyo caso el proyectil, una vez impreso con un ímpetu (fuerza en términos modernos), seguiría moviéndose para siempre. Pero para Galileo seguiría la curva de la Tierra. Repitió esta circunstancia con su experimento de una pelota que bajaba rodando un plano inclinado y subía por otro; conforme el segundo plano se inclinaba cada vez más hacia el horizonte la pelota rodaba más y más a lo largo de éste. Suponía que con el plano más liso y la pelota más pulida ésta seguiría moviéndose sobre el segundo plano cuando estuviera dispuesto en forma horizontal; ésta es la representación visual de la inercia circular.[14]

Galileo no concebía un cuerpo que pudiera alejarse de la Tierra en línea recta, hacia un vacío infinito. Como todos los demás, Galileo estaba tanto física como conceptualmente anclado a la Tierra. Newton fue el único capaz de hacer este gigantesco salto conceptual, suficiente para que un proyectil abandone la Tierra y se mueva en un vacío infinito; él pasó, conceptualmente, "del mundo cerrado al universo infinito", por usar el elocuente título de la gran obra de Alexandre Koyré sobre el tema (Koyré, 1957). El salto conceptual de Newton fue la base de la mecánica moderna. La historia del desarrollo de la ley de la inercia, un proceso de 2 000 años, revela mucho sobre la estructura y los mecanismos de la actividad científica, entre ellas el proceso de generación y selección de teorías.[15] Recorrer esta historia argumental es útil para sostener argumentos propios sobre la ciencia y las cosmovisiones.

Por ejemplo, luego de las tradicionales lecciones fallidas sobre la inercia, los alumnos dijeron que "las leyes de Newton no describen el mundo que experimentamos"; algunos incluso afirmaron que "la física es sobre un mundo especial y no sé por qué estamos estudiándola". Por supuesto, la reacción de los románticos iba dirigida contra una idealización newtoniana. Para ellos (Keats, Coleridge, Goethe, etc.), el complejo mundo de la experiencia humana no podía capturarse mediante las desabridas masas puntuales de Newton o por el mundo mecánico de la nueva ciencia, carente de emoción y de sentimientos. En el siglo XX, Marcuse, Husserl, Tillich y otros han repetido distintas versiones de esta acusación. Sin embargo, lo que debe reconocerse, y cualquier maestro competente y con conocimiento de historia y filosofía de la ciencia puede señalar, es lo que Aldous Huxley observó atinadamente:

> La imagen científica del mundo es inadecuada, por la sencilla razón de que la ciencia ni siquiera afirma tratar

> la experiencia como un todo, sino sólo ciertos aspectos de ella en ciertos contextos. Los hombres de temperamento más científico lo entienden de manera muy clara […] [Desafortunadamente] nuestra época contiene un poderoso elemento de lo que podemos llamar "nada sino" pensamiento [Huxley, 1947, p. 28].

Además de temas históricos interesantes e importantes, en cualquier buen tratamiento de la ley de la inercia y del concepto de fuerza que se emprenda en el aula surgirán algunos asuntos filosóficos básicos:

- *Epistemología:* en la naturaleza nunca vemos comportamientos libres de fuerzas, ni tampoco pueden inducirse experimentalmente, así que ¿dónde se origina y cómo se justifica nuestro conocimiento sobre los cuerpos que actúan sin que se imprima sobre ellos una fuerza?
- *Ontología:* no vemos o experimentamos fuerzas si no es mediante la forma en la que se manifiestan, así que ¿tienen una existencia independiente? ¿Qué es la masa? ¿Qué distingue la cantidad de masa y el peso?
- *Cosmología:* ¿entonces un objeto inercial viaja para siempre en un vacío infinito? ¿Se crearon cuerpos con movimiento? Si es así, ¿decae en forma natural (teoría del ímpetu) o sólo cuando se hace un trabajo (teoría newtoniana)?

Éste es el tipo de consideraciones que llevaron al polímata francés Henri Poincaré (1854-1912) a decir: "Cuando decimos que la fuerza es la causa del movimiento hablamos en términos metafísicos" (Poincaré, 1905/1952, p. 98). Y puesto que todas las clases de física dicen que la fuerza es la causa de la aceleración, en todos los salones de clases la metafísica está presente, esperando a ser expuesta por alumnos a los que se invite a pensar cuidadosamente sobre lo que les enseñan y por maestros que sepan algo sobre la historia y la filosofía de la materia que enseñan. Existen varios textos[16] que revelan cómo enseñar y aprender la ley de la inercia en las aulas permite que maestros y alumnos expongan y se involucren en los problemas ontológicos, epistemológicos y metodológicos fundamentales de la filosofía. Esto prepara el terreno para una discusión más sofisticada e informada sobre los grandes problemas de la ciencia y la metafísica, y ayuda a cultivar un conjunto de alumnos de ciencia "de temperamento más filosófico".[17]

Pensar en forma cuidadosa e histórica sobre los principios y los conceptos básicos de cualquier disciplina es un requisito bastante general para entender en forma inteligente y competente cualquier disciplina, ya sea matemáticas, historia, psicología, literatura, teología, economía o cualquier otra. Todas tienen sus propias nociones y estándares —que se traslapan— para identificar prácticas y juicios buenos y malos; así, para cada disciplina existen problemas filosóficos (epistemológicos, ontológicos, metodológicos y éticos). Existe, pues, una filosofía de cada disciplina. Aprender cualquier disciplina en forma inteligente requiere tener interés en su filosofía y algunas habilidades filosóficas básicas; en concreto, eso es lo que significa "aprender entendiendo", un objetivo

educativo bastante evidente defendido por Ernst Mach (1886/1986) y, más recientemente, por Israel Scheffler (1970).[18] Si hubo científicos importantes, como los que enumeramos al principio del capítulo, que sintieron que era importante escribir libros sobre la filosofía de su tema, los maestros y los alumnos de ciencia sin duda se beneficiarán de seguir su ejemplo y de formularse las mismas preguntas.

Los argumentos de Mach y Scheffler se materializaron, con retraso y de forma independiente, en los insistentes llamados internacionales para que los alumnos aprendan sobre la naturaleza de la ciencia al tiempo que aprenden ciencia. No se puede aprender sobre la naturaleza de la ciencia sin aprender filosofía de la ciencia, que era precisamente el argumento de Mach y Scheffler.

La experimentación mental es un rico tema científico y filosófico que puede explorarse en forma muy productiva con los alumnos. Los experimentos mentales han desempeñado un papel importante en la historia de la ciencia: los usaron los pensadores presocráticos y medievales, Galileo, Leibniz, Newton, Carnot y, en el siglo pasado, Einstein, Poincaré, Schrödinger, Eddington y Heisenberg. Ni la relatividad ni la teoría cuántica podrían haberse desarrollado o probado conceptualmente sin echar mano del experimento mental, pero en epistemología de la ciencia se discute mucho si los experimentos mentales podrían haber confirmado, por sí mismos, estas teorías.[19] Resulta evidente que los experimentos mentales vinculan la ciencia con la filosofía; hay quienes observan que la historia de la filosofía no es más que un largo experimento mental. Los experimentos mentales arrojan luz sobre una dimensión importante del pensamiento científico y pueden usarse con excelentes resultados en las aulas. Para muchos, estos experimentos abren un terreno científico totalmente nuevo. La que sigue es una forma de describir estas estrategias:

> Los experimentos mentales son recursos de la imaginación que se usan para investigar la naturaleza de las cosas. Con frecuencia, los experimentos mentales se llevan a cabo cuando se emplea el método de la variación para considerar conjeturas imaginativas. Se usan por diversas razones en una variedad de áreas, como la economía, la historia, las matemáticas, la filosofía y la física. Los experimentos mentales se comunican, por lo general, en forma narrativa, a veces con ayuda de medios tales como diagramas. Los experimentos mentales deben distinguirse del acto de pensar sobre los experimentos, de imaginar que cualquier experimento se lleva a cabo fuera de la imaginación y de cualquier experimento psicológico que involucre pensamientos. También deberían distinguirse del razonamiento contrafáctico en general, puesto que parecen requerir de un elemento experimental [Brown y Fehige, 2011, p. 1].

Galileo

Ernst Mach (1838-1916), en su *Mecánica,* llama la atención hacia uno de los grandes experimentos mentales en la historia de la ciencia, el que ocurre en el primer día de las *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias* (1638/1964) de Galileo, que busca desacreditar la tesis aristotélica de que los cuerpos en caída libre descienden a una velocidad proporcional a su peso. En el texto, Simplicio, el aristotélico, presenta la idea de que "los móviles de distinto peso se mueven en el mismo medio con velocidades desiguales, que mantienen entre sí la misma proporción que los respectivos radios y pesos" (Galileo, 1638/1954, p. 60).[20] Sigue una conversación que no llega a ninguna conclusión sobre lo que sucede cuando se dejan caer balas de cañón y de mosquete desde grandes alturas y las supuestas diferencias en el tiempo que tardan en tocar el suelo. El diálogo continua así, con Salviati fungiendo como el vocero de Galileo:

SALVIATI: Sin ninguna otra experiencia, con una demostración breve y concluyente se puede probar claramente que un móvil más pesado se mueve con más velocidad que otro que lo es menos, tratándose de móviles de la misma materia y, en suma, como quiere Aristóteles. Pero decidme, señor Simplicio, si admitís que a cada cuerpo grave que cae le corresponde una velocidad determinada por la naturaleza, de modo que no se puede aumentarla ni disminuirla si no es de manera violenta u oponiéndole algún impedimento.

SIMPLICIO: No se puede dudar que el mismo móvil en el mismo medio tiene una velocidad establecida y determinada por la naturaleza, que no se puede aumentar si no es confiriéndole un nuevo ímpetu o disminuir salvo con algún impedimento que lo retarde.

SALVIATI: Por consiguiente, si tuviésemos dos móviles de velocidades naturales diferentes es evidente que si uniésemos el más tardo con el más veloz, éste sería retardado en parte por el más tardo y el tardo acelerado en parte por el más veloz. ¿No estáis de acuerdo conmigo en este punto?

SIMPLICIO: Me parece que debe suceder así.

SALVIATI: Pero si esto sucede, y si al mismo tiempo es cierto que una piedra grande se mueve, por ejemplo, con ocho grados de velocidad y una menor con cuatro, por consiguiente poniéndolas juntas a las dos el compuesto de ellas se moverá con una velocidad menor que ocho grados; pero las dos piedras puestas juntas forman una piedra mayor que la primera, que se movía con ocho grados de velocidad; luego ésta más grande se moverá con menos velocidad que la menor, lo que va contra vuestra suposición. Veis, pues, cómo suponiendo que el móvil más pesado se mueve con más velocidad que el menos pesado, yo concluyo que el más pesado se mueve con menos velocidad.

SIMPLICIO: Estoy confundido porque me parece que la piedra mayor añadida a la menor le añade peso y al añadirle peso no sé cómo no debe añadirle velocidad o, al menos, no disminuirla.

El argumento de Galileo es breve, concluyente y elegante. Karl Popper lo describió como: "Uno de los experimentos imaginarios más importantes en la historia de la filosofía natural, y uno de los argumentos más sencillos e ingeniosos en la historia del pensamiento racional sobre el universo" (Popper, 1934/ 1959, p. 442).

Para continuar, considere cómo Galileo criticó, o disolvió, la distinción entre los movimientos naturales y violentos que estaba firmemente enraizada en la física aristotélica, donde el movimiento natural ocurre cuando los cuerpos se mueven hacia sus lugares "naturales", y los movimientos violentos cuando se alejan de éstos. El movimiento circular era natural para los planetas; el movimiento hacia el centro de la Tierra era natural para los cuerpos terrestres pesados. Galileo concibió un experimento en el cual se taladrara un pozo que cruzara el centro de la Tierra y saliera por el extremo opuesto. Le pidió a los aristotélicos que imaginaran qué pasaría si se arrojara una piedra por el pozo. Por supuesto viajaría "naturalmente", a una velocidad cada vez mayor, hacia el centro de la Tierra. Pero, ¿qué pasaría cuando llegara allí? ¿Se detendría? ¿Seguiría cayendo y por lo tanto se alejaría "naturalmente" del centro de la Tierra? ¿El movimiento natural se convertiría de algún modo en movimiento violento? Este experimento mental se usó para investigar la insuficiencia de la distinción aristotélica fundamental.[21] Por supuesto, es imposible realizar el experimento, pero esto no ensombreció su capacidad para aclarar los problemas conceptuales de la vieja física.

Este experimento mental, y otros, llevaron a Alexandre Koyré a reclamar para Galileo, con un entusiasmo un poco exagerado, la "gloria y el mérito de haber sabido

cómo prescindir de los experimentos” (Koyré, 1968, p. 75).

Newton

Los *Principios* de Isaac Newton (Newton, 1729/1934) y su *Óptica* (Newton, 1730/1979) constituyen las piedras fundacionales de la ciencia moderna; proporcionaron los parangones conceptuales y metodológicos de los inicios de la física y la química modernas y luego de la historia, las ciencias sociales y otras disciplinas (Butts y Davis, 1970; Cohen, 1980). Filósofos de la Ilustración como John Locke, Baruch Spinoza, David Hume, Voltaire, Jean d’Alembert y muchos otros buscaron extender sus métodos hipotético-experimentales hacia el estudio de la moral, la política, la religión, las escrituras, la ley y otras empresas intelectuales con la esperanza de que en esos campos pudieran alcanzarse conocimientos y acuerdos comparables entre los investigadores serios (Hyland *et al.,* 2003; Porter, 2000). Como afirmó Jan Golinski sobre el tema:

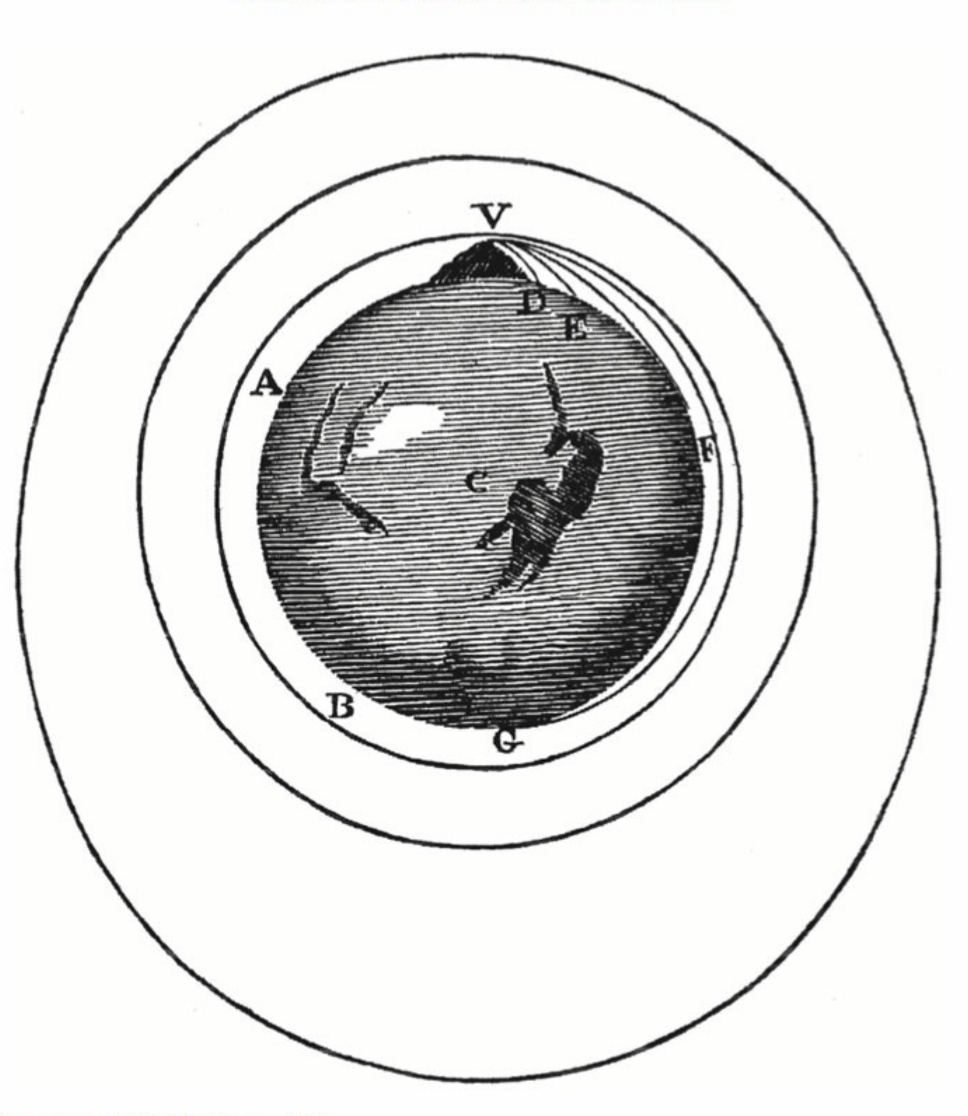
> Newton le ofreció a sus seguidores recursos tanto culturales como teóricos y metodológicos. Su filosofía natural inspiró a los científicos a emularla y a escritores y oradores a popularizarla; una vez divulgada pudo transmitir mensajes sobre la religión y la sociedad, además de aquellos sobre la naturaleza. Así, los hombres de la Ilustración hicieron de Newton un símbolo cultural que respondió muchas de sus variadas necesidades intelectuales [Yolton *et al.,* 1991, p. 369].

Además de su trabajo experimental “práctico”, como el que se ve en sus investigaciones sobre los péndulos y los prismas, la ciencia y el sistema de Newton dependían en gran medida de experimentos mentales, algo que reconoció Ernst Mach pero que los maestros de ciencia modernos no reconocen con tanta frecuencia. Tal vez el experimento mental más conocido de Newton sea su conjetura sobre la bala de cañón convertida en satélite, expuesta en su “Sistema del mundo”, el segundo volumen de los *Principia.* Se trata de un fragmento clave de su histórica unificación de la mecánica terrestre y celeste: su demostración de que las leyes que gobiernan la caída de los cuerpos en la Tierra gobiernan asimismo el movimiento de los planetas y los cometas en los cielos. Newton escribió:

> Si consideramos los movimientos de los proyectiles podemos entender fácilmente que los planetas puedan ser retenidos en ciertas órbitas mediante fuerzas centrípetas; pues una piedra proyectada se ve apartada de su senda rectilínea por la presión de su propio peso y obligada a describir en el aire una curva, cuando en virtud de la sola proyección inicial habría debido continuar dicha senda recta, en vez de ser finalmente atraída al suelo; y cuanto mayor es la velocidad con la cual resulta proyectada más lejos llega antes de caer a tierra. Podemos por lo tanto suponer que la velocidad se incremente hasta que la piedra describa un arco de 1, 2, 5, 10, 100, 1 000 millas antes de caer, de forma que al final, superando los límites de la Tierra, pasará al espacio sin tocarla [Newton, 1729/1934, p. 551].

Este experimento mental fertiliza el terreno intelectual para la unificación de la mecánica celeste y la terrestre, pero no la emprende por sí mismo. Es importante notar que el diagrama (figura V.1) le permitió a las personas visualizar la física de los satélites, pero Newton todavía debió demostrar que la bala de cañón podía tratarse de la Luna. Hizo esto usando el ubicuo péndulo, "la herramienta más importante que se usó en la primera edición de los *Principia mathematica*" (Meli, 2006, p. 269). Newton empleó el péndulo para demostrar que la distancia que cae la Luna hacia la Tierra en un segundo es exactamente la misma distancia que cae un objeto hacia la superficie de la Tierra en un segundo (Boulos, 2006; Matthews, 2000, pp. 188-193).

FIGURA V.1. *Cañón orbital de Newton*



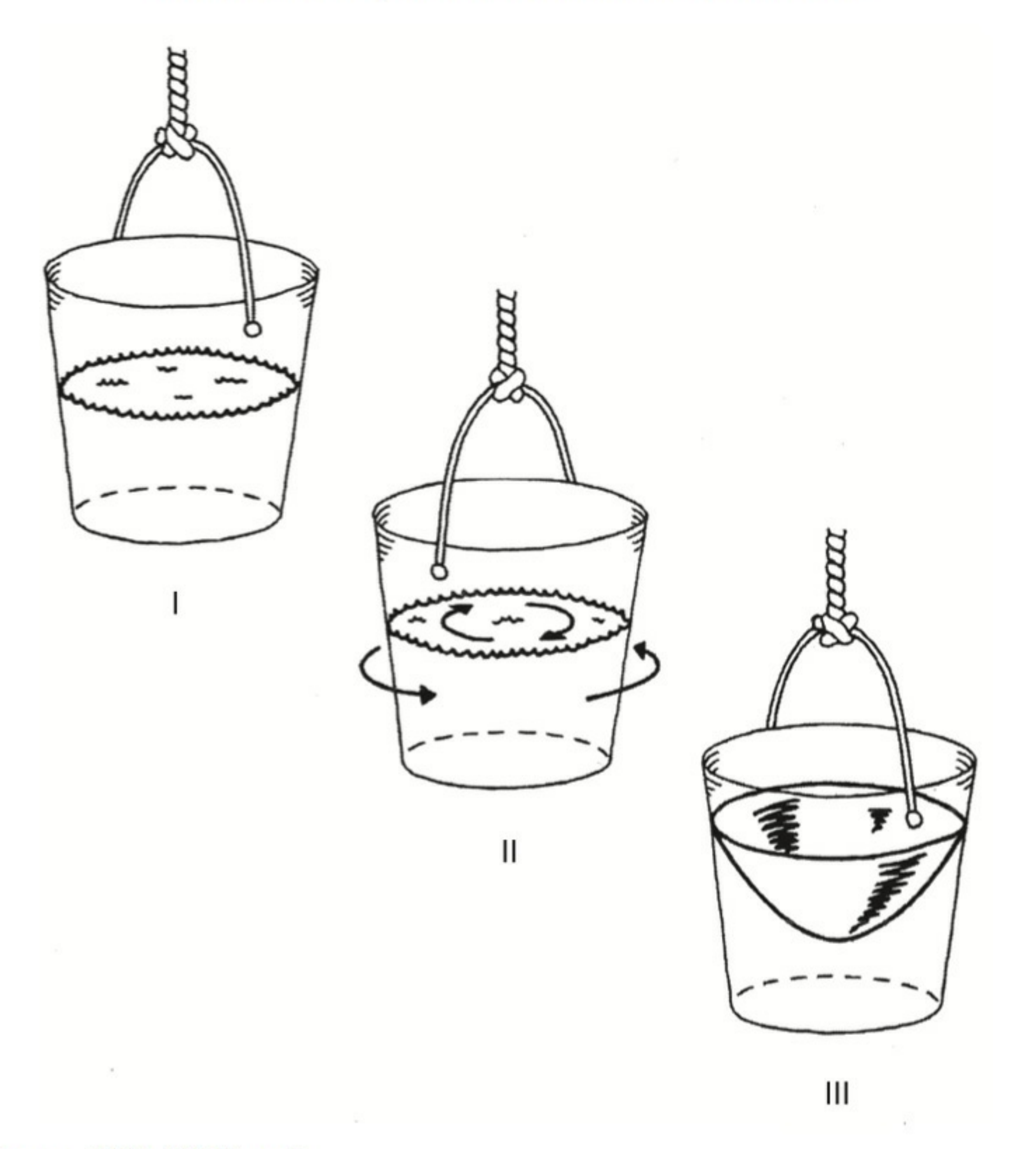
FUENTE: Newton, 1729/1934, p. 551.

Tal vez el experimento mental de Newton que más se conoce después de éste, y que

fue el que tuvo el impacto más contundente y perdurable sobre la física, la filosofía y también la teología, fue su "experimento de la cubeta", donde interpretó los movimientos relativos del líquido y del contenedor en una cubeta estacionaria llena de agua puesta a girar como un argumento sobre el espacio absoluto y la existencia de las fuerzas (Newton, 1729/1934, pp. 10-11). El sistema de la filosofía natural de Newton y su "sistema del mundo" dependía, asumía o incorporaba la idea del espacio (y el tiempo) absoluto, y por lo tanto del movimiento real y no sólo relativo; para Newton el espacio tenía una existencia real: no había tal cosa como espacio "vacío" entre los cuerpos. Esto se oponía a la cosmología de Descartes y Leibniz, para quienes sólo existían los cuerpos y el espacio era una "relación" inexistente entre ellos y todo el movimiento ocurría en relación con otro cuerpo; qué cuerpo se movía dependía únicamente de la nomenclatura convencional que determinaba que uno era el cuerpo "inmóvil". Así, el universo no existía en el espacio; éste era una mera consecuencia de la existencia de los cuerpos del universo (planetas, estrellas, cometas, árboles, nubes, etc.). No vemos, y no podemos "ver", el universo; no hay una vista hacia el "exterior" o "desde ningún lado". Así, este desacuerdo no parece ser susceptible a la investigación científica; no parece existir ningún experimento que pueda llevarse a cabo sobre el universo. Sin embargo, Newton realizó un experimento mental para decidir el tema a su favor. Imaginó una cubeta de agua que rota en un universo vacío (véase la figura V.2), que establecía, en su opinión, la existencia del espacio absoluto.

> Si se cuelga de un cordel muy largo un balde y se retuerce hasta que el cordel se ponga rígido, y se llena después de agua, y están a la vez en reposo balde y agua; y por alguna fuerza repentina se pone en rotación con movimiento contrario y, relajándose el cordel, se mantiene largo rato tal movimiento, la superficie del agua al principio será plana, como antes del movimiento del balde; mas después, al imprimirse poco a poco la fuerza en el agua, hará el balde que el agua también comience a girar, se retirará poco a poco del medio y subirá a los lados del balde, tomando figura cóncava (yo he hecho el experimento) y, por tal movimiento siempre acelerado, subirá más y más hasta que, girando con el vaso en tiempos iguales, repose relativamente en él [...] Al comienzo, cuando el movimiento relativo del agua en el vaso era máximo, tal movimiento no producía conato alguno de separarse del eje. El agua no se dirigía a la circunferencia subiendo por los lados del vaso, sino permanecía plana y, por ello, no había comenzado aún su movimiento circular verdadero. Pero después, al decrecer el movimiento relativo del agua, su subida a los lados del vaso indicaba ese conato de separarse del eje, y tal conato mostraba que su movimiento circular verdadero crecía constantemente, y finalmente se hacía máximo cuando el agua estaba en reposo respecto del vaso [...] El movimiento circular verdadero de cualquier cuerpo es único, y responde a un conato único cual a propio y adecuado efecto [...] nuestros cielos giran debajo de los cielos de las estrellas fijas, y arrastran a los planetas, planetas y cada una de las partes de los cielos que están ciertamente en reposo respecto a sus cielos próximos se mueven verdaderamente, porque cambian sus posiciones mutuas (a diferencia de los que verdaderamente están en reposo) y, simultáneamente con los cielos participan, llevados, de sus movimientos, y por ser partes de todos girantes, tienden a separarse de sus ejes [Newton, 1729/1934, pp. 10-11].

Figura v.2. *Experimento de la cubeta de Newton*



Fuente: Brown, 1991/2010, p. 9.

Tanto en la primera instancia (donde el agua y la cubeta permanecen estacionarios) como en la tercera (donde el agua y la cubeta se mueven), el agua permanece en reposo respecto a la cubeta; sin embargo, la superficie del agua está plana en la primera y cóncava en la tercera. Newton mantiene que sólo el movimiento real del agua (una fuerza centrífuga) puede explicar la diferencia en la forma. El agua debe estar moviéndose con respecto al espacio absoluto. En consecuencia, puede haber, y hay, un movimiento real de los cuerpos en el universo, y de hecho el movimiento del universo como un todo en el espacio. Mediante este experimento mental, Newton pasa de la observación de una cubeta de agua que gira en la realidad a una conclusión cosmológica no empírica e inobservable. La imagen cosmológica de Newton respalda su dinámica y sus ideas sobre

la fuerza y la aceleración: cuando existen aceleraciones reales hay fuerzas reales; cuando hay aceleraciones que no son reales, sino sólo aparentes o relativas, no existen fuerzas. Es un supuesto de su ley de la inercia y la preferencia por los marcos de referencia inerciales para especificar las leyes de la naturaleza; las leyes sólo son válidas en un marco de referencia inercial.

Las ideas de Newton fueron rechazadas primero por el obispo George Berkeley (1685-1753) (1721/1965, p. 270), un protopositivista, y luego por el metódico positivista Ernst Mach (1893/1974, pp. 277-287). Este último rechazó las ideas de Newton sobre el espacio y el tiempo absolutos; le parecían más metafísica que física. Mach mantenía que la concavidad en la superficie del agua se debía a que el agua rotaba con respecto a cuerpos celestes distantes, no con respecto a un espacio absoluto; si la cubeta y el agua fueran los únicos cuerpos en el universo la superficie del agua permanecería plana en todas las secuencias.

Hoy nos queda claro que estos debates sobre el tiempo y el espacio absolutos tienen que ver con las bases conceptuales de la física, pero para Newton y sus contemporáneos la controversia tenía una relevancia teológica clara, con implicaciones sobre Dios y su creación del mundo material. Si no existía el espacio vacío cuando Dios creó la materia, ¿en qué la creó? ¿Y qué era entonces la no-materia? Esta última pregunta incita una respuesta herética, panteísta: Dios mismo (Friedman, 2009).

Einstein

Albert Einstein (1879-1955) terminó siguiendo a su maestro, Mach, en el rechazo de la explicación de Newton del experimento de la cubeta. En su famosa exposición sobre la teoría de la relatividad de 1916 escribió, sobre el argumento newtoniano de que las leyes físicas sólo son ciertas en marcos de referencia inerciales: "nadie que piense en forma lógica puede quedarse satisfecho con esta condición" (Einstein, 1916/1961, p. 71). Continuó:

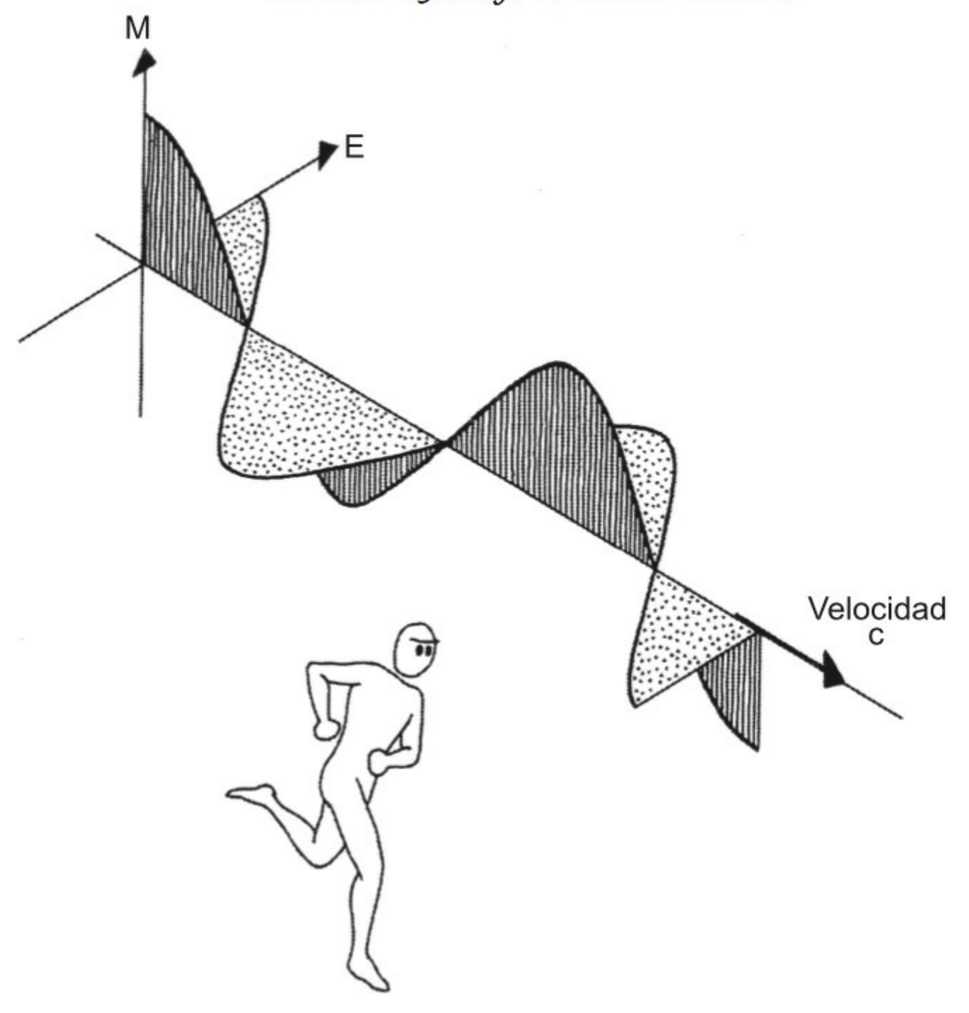
> Busco en vano en la mecánica clásica (o en la teoría de la relatividad especial) algo real a lo que poder atribuirle el dispar comportamiento de los cuerpos respecto a los sistemas K y K^1. Esta objeción la vio ya Newton, quien intentó en vano neutralizarla. Pero fue E. Mach quien la reconoció con mayor claridad, y fue a causa de ella que afirmó que la mecánica debía situarse sobre nuevas bases. La objeción solamente puede evitarse en una física que se corresponda con el principio de la relatividad general, porque las ecuaciones de una teoría semejante se sostienen para cualquier cuerpo de referencia, sea cual fuere su estado de movimiento [Einstein, 1916/1961, pp. 72-73].

Einstein se dio cuenta de que la física avanza mediante conjeturas audaces y su correspondiente experimentación mental. En su "Autobiographical essay" [Ensayo

autobiográfico], de 1951, relata cómo lo inquietaba, de adolescente, la interpretación física de las ecuaciones de Maxwell para el electromagnetismo, por entonces prevalentes. Esta sensación desapareció, junto con la interpretación mecánica de las ecuaciones de Maxwell, gracias a un experimento mental: Einstein se imaginó corriendo a la par de un rayo de luz y volteando a mirarlo (véase la figura V.3). Escribió: "debería observar ese rayo de luz como un campo electromagnético oscilatorio en reposo espacialmente. Pero al parecer no existe tal cosa, ya sea según la experiencia o de acuerdo con las ecuaciones de Maxwell" (Schilpp, 1951, p. 53).

> Afirma que "esta paradoja contenía ya el germen de la teoría de la relatividad especial",[22] y continúa: "el tipo de razonamiento crítico que precisaba el descubrimiento de este punto nodal fue fomentado de modo decisivo por la lectura de los escritos filosóficos de […] Ernst Mach" [Schilpp, 1951, p. 53]. Esto tendría que bastar para establecer la importancia fundamental de los experimentos mentales en la historia de la ciencia; dicha importancia debería concederles una posición más privilegiada en las aulas de ciencias.

Figura v.3. *Rayo de luz de Einstein*



Fuente: Brown, 1991/2010, p. 17.

Fue Ernst Mach quien introdujo, desde su posición positivista, los experimentos mentales *(Gedankenexperimente)* en la enseñanza de la ciencia. Dijo sobre ellos que "El método de permitirle a las personas adivinar el resultado de un arreglo experimental también tiene su valor didáctico […] Experimentar mentalmente es importante no sólo para el investigador profesional sino también para el desarrollo mental en sí mismo"; no sólo el alumno sino también "el maestro obtiene por este método unos beneficios inconmensurables" (Mach, 1905/1976, pp. 142-143). Los experimentos mentales permiten que el maestro entienda cuánto comprenden los alumnos sobre los conceptos fundamentales de una disciplina. Y Mach se refería a cualquier disciplina: ciencia, matemáticas, economía, historia, teología o política.[23]

Cada edición de su *Zeitschrift* contenía experimentos mentales para que los llevaran a cabo sus lectores. Por ejemplo, pregunta qué esperan que le pase a un vaso de agua en equilibrio sobre una báscula cuando se introduce en él una masa suspendida. O, en otro tema, qué pasa cuando una botella tapada con una mosca en la base se encuentra en equilibrio sobre una báscula y la mosca sale volando. Se trata de ejemplos de experimentos mentales de tipo anticipatorio, pues el experimento realmente puede llevarse a cabo. Estimulan la mente y revelan lo que los alumnos creen sobre los conceptos relevantes que están investigándose. Sin embargo, algunos experimentos mentales no son de tipo anticipatorio sino ideal, puesto que no pueden producirse las circunstancias que se postulan: el experimento de la bala de cañón de Newton, la pelota que se arroja a un pozo que cruza el centro de la Tierra de Galileo, etc. Mach fomentaba estos ejercicios porque pensaba que ejercitar la imaginación y la creatividad era otra forma de cerrar la brecha entre las humanidades y las ciencias: "El arquitecto, el constructor de castillos en el aire, el novelista, el autor de utopías sociales y tecnológicas, experimenta con el pensamiento" (Mach, 1896/1976, p. 136).

Esta defensa de Mach no ganó muchos adeptos entre los maestros de ciencia de su época. La imaginación, la formulación de hipótesis y el pensamiento creativo no eran más característicos de la pedagogía de la ciencia de finales del siglo XIX que de la contemporánea. Einstein, que situaría los experimentos mentales en el escenario principal de la física moderna, haría sobre su propia educación el muy citado comentario de que "cuando pasé el examen final descubrí que tener que pensar sobre cualquier problema científico me resultó desagradable por todo un año" y que "de hecho es casi milagroso que los métodos modernos de enseñanza no hayan conseguido ahogar por completo la sagrada curiosidad de la investigación" (Schilpp, 1951, p. 17).

Algunos maestros han introducido en las aulas los experimentos mentales tal como Mach los sugirió, y estos empeños se han documentado e investigado cuidadosamente.

Para los maestros resulta útil entender la contribución de los experimentos mentales al cambio conceptual en ciencia y prolongar su uso a las aulas para promover el cambio conceptual que ocurre en ellas. Esta conexión ha sido objeto de algunas investigaciones interesantes.[24] El trabajo de Nancy Nersessian, por ejemplo, es bien conocido. Ella escribe:

> La experimentación mental es uno de los medios principales para el cambio de estructuras conceptuales en los científicos. Propongo que la experimentación mental es una forma de "razonamiento simulativo basado en modelos". Es decir, los experimentadores mentales razonan al manipular modelos mentales de las situaciones representadas en el discurso del experimento mental [Nersessian, 1993, p. 292].

Lo que es válido para los científicos puede serlo para los niños que aprenden ciencia. Ésta es el área sobre la cual Mach afirmó que la experimentación mental le permite a los maestros entender qué tan bien aprenden los conceptos sus alumnos. Mucho antes de que existiera el constructivismo, Mach reconoció que una enseñanza efectiva requiere que los maestros conozcan los conceptos tal como los entienden los alumnos.

En Ontario, algunas clases de historia han usado la experimentación mental de la mano de temas de ciencia ficción: si el Hombre Biónico acelerara a cierto ritmo, ¿se le derretirían los pies? (Stinner, 1990). Este tipo de problemas para "pensar la física" le permite a los maestros y a los alumnos determinar a qué se refieren con conceptos fundamentales como la gravedad, la fuerza, la presión, etc., y pensar en las condiciones correctas para la aplicación de estos conceptos.

Un libro de texto que sirve como ejemplo de este enfoque de la física es el de L. C. Epstein *Thinking Physics* [Pensar la física] (Epstein, 1979), que contiene muchos ejercicios como el que sigue:

- *Sputnik I,* el primer satélite terrestre artificial, cayó de regreso a tierra porque la fricción con la parte externa de la atmósfera terrestre lo frenó. Cuando el *Sptunik* comenzó a acercarse más y más a la Tierra, trazando una espiral, se observó que su velocidad: ¿se reducía, permanecía constante o aumentaba? (Epstein, 1979, p. 157).
- Hace más de un siglo, J. C. Maxwell calculó que si los anillos de Saturno estuvieran hechos a partir de una lámina de metal recortada no serían lo suficientemente fuertes para soportar la fuerza de marea o la tensión del gradiente gravitatorio que Saturno ejercería sobre ellos, y por lo tanto se harían pedazos. Pero supón que los anillos estuvieran cortados a partir de una placa gruesa, y no de una lámina, de hierro. Si fuera así: ¿la placa se rompería tan fácilmente como la lámina, más fácilmente que la lámina o menos fácilmente que la lámina? (Epstein, 1979, p. 161).

Estos ejercicios requieren que los alumnos piensen sobre el significado de los

conceptos que se usan para describir los fenómenos. Son experimentos mentales en la tradición de los *Gedankenexperimente* de Mach. Activan la mente de quien aprende en formas en que no pueden hacerlo exclusivamente los actos de calcular o llevar a cabo experimentos empíricos estereotipados. Apuntalan la afirmación de Mach de que "experimentar en la mente es importante no sólo para los investigadores profesionales sino también para el desarrollo mental mismo".

Athanasios Velentzas y Krystallia Halkia han enseñado e investigado sobre varias unidades que incluyen experimentos mentales en las escuelas griegas. En un caso, 40 jóvenes de 16 años participaron en lecciones en las que se les pidió que trabajaran con el experimento de la bala de cañón de Newton como una forma de que comprendieran la gravedad y el movimiento de los satélites (Velentzas y Halkia, 2013). Parte de su alentadora conclusión fue que:

> El proceso que se llevó a cabo en este estudio ayudó a los alumnos tanto a superar obstáculos para comprender las leyes de la física que eran provocados por ideas derivadas de sus experiencias cotidianas como a modificar sus ideas relacionadas con el campo gravitacional de la Tierra, así como a retener estas ideas y aplicarlas en una nueva experiencia educativa en la misma área del conocimiento dos semanas después de la intervención educativa [Velentzas y Halkia, 2013, p. 2637].

Las computadoras son una bendición para la experimentación mental escolar, pues permiten superar uno de los problemas tradicionales en el trabajo rutinario de laboratorio y en la experimentación: que los maestros tienen que hacer todo el diseño y la planeación experimental (Hodson, 1988). La falta de tiempo, los equipos desconocidos, la seguridad y otros problemas con frecuencia implican que los alumnos se limitan a ejecutar un experimento que el maestro ha planeado con antelación. Los alumnos aprenden habilidades de manipulación, desarrollan técnicas de observación, aprenden a permanecer atentos —todas cosas muy importantes—, pero rara vez aprenden las habilidades conceptuales y creativas que son el sello distintivo de la buena ciencia.[25] Las computadoras pueden eliminar estos obstáculos prácticos para generar y probar hipótesis y permiten extrapolar a las situaciones de prueba idealizadas que caracterizan los experimentos mentales. La nota 19 de este capítulo enumera la bibliografía central para el análisis filosófico de los experimentos mentales. Los filósofos también han desarrollado y debatido la epistemología de la simulación computarizada en la investigación científica.[26] Como ocurre con los experimentos mentales, este debate filosófico puede contribuir al uso en las aulas de simulaciones computarizadas, laboratorios mentales y modelos hechos en computadora.[27] Un maestro con conocimientos de historia y filosofía de la ciencia puede profundizar en las preguntas epistemológicas conforme afloran e involucrar a los alumnos; por ejemplo, ¿qué aprendemos, si es que aprendemos algo, de un modelo de "caja negra", sin mecanismos, que hace predicciones confirmadas sobre los acontecimientos del mundo? ¿Estos modelos son aceptables en la economía pero no en la

biología?

Todos los programas de ciencia buscan desarrollar el pensamiento científico y el razonamiento de los alumnos, para hacerlos más científicos y también para que sepan más sobre ciencia. Sin embargo, el pensamiento científico es polifacético. La cara del descubrimiento o del aprendizaje requiere ser atento, observar, formular hipótesis, ser creativo, leer bien, hacer inferencias, etc. Todo esto tiene que ver con obtener datos representativos, evidencia o información. Esta cara del descubrimiento también implica compartir o comunicar este material basado en evidencias, realizar inferencias inductivas o deductivas adecuadas a partir de él, etc. La cara de la justificación del pensamiento científico implica argumentar o establecer de qué forma los datos son relevantes para una o más hipótesis o teorías, o por qué se prefieren unas evidencias a otras, etc. Así, el pensamiento científico se relaciona y requiere el pensamiento lógico, el pensamiento crítico y la argumentación; de preferencia, los dos primeros anteceden al tercero y luego se elaboran de la mano del desarrollo social y la capacidad argumentativa. El análisis de estos procesos ha formado parte de la tradición filosófica al menos desde Platón y, si se cuenta con maestros bien preparados, los programas de ciencia proporcionan muchas oportunidades para cultivar estas habilidades de pensamiento, que con un poco de suerte tienen un efecto de derrama sobre otros estudios y sobre la toma de decisiones en la vida.

En las últimas décadas, esta constelación de habilidades de pensamiento científico se ha subsumido bajo el nombre de "argumentación científica", como resulta evidente en la portada de una antología reciente sobre el tema en la que se afirma que la argumentación científica incluye "llegar a conclusiones sobre un tema mediante un proceso de razonamiento lógico que incluye el debate y la persuasión" (Khine, 2012). Dos investigadores en el campo comentan que:

> Los argumentos científicos casi nunca son formales (lógicos o matemáticos); por lo general son analógicos, causales, hipotético-deductivos, probabilísticos, abductivos, inductivos [...] Una de sus funciones es hacer que un modelo teórico resulte plausible, que se conecte en forma convincente con un número creciente de fenómenos [Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003, p. 38].

A esta descripción del pensamiento científico, más integral y más realista, bien pueden contribuir los filósofos. Los filósofos dirían, con razón, que estas descripciones subsumen elementos normativos o filosóficos: ¿De qué modo el razonamiento lógico (o de un tipo deductivo o inductivo) puede separarse del razonamiento ilógico? ¿Cómo puede distinguirse la persuasión razonable de la irrazonable? ¿Cómo se distingue lo plausible de lo no plausible? ¿Qué distingue una justificación para creer algo de una razón para creerlo? No toda la persuasión es científica, y no todos los intercambios son debates. Que las estrellas se alineen puede ser una razón para las creencias de alguien,

pero sencillamente no es una justificación. Aquí la filosofía tiene, nuevamente, una contribución clara que hacer a las discusiones educativas.[28] Esta contribución tiene vínculos con una más general, la de recordarle a la gente que para que la sociología de la ciencia sea útil en términos educativos debe tener lazos con la filosofía de la ciencia; los estudios del cambio de creencias deben estar relacionados con la epistemología, y los estudios de psicología del razonamiento deben estar ligados con los estudios de lógica. Los lógicos han señalado, durante mucho tiempo, que la lógica es el estudio de las formas en las que debería pensar la gente, no el estudio de cómo piensan en realidad; esto último es del área de la psicología, no de la filosofía. Queda claro que los pedagogos deben trabajar en ambos campos, pero sin perder de vista la distinción. No todos los cambios de creencias son educativos, y no todas las razones son buenas razones.

Los estudios teóricos y pedagógicos de la argumentación son cada vez más comunes; una revisión reciente dice que ha habido “más de 300 referencias en inglés, francés y español” (Adúriz-Bravo, 2014, p. 1448). Algunas antologías[29] y revisiones[30] populares discuten la investigación publicada en inglés.

Pensamiento lógico

Pensar de forma lógica no es, por supuesto, todo lo que se necesita para pensar en forma científica, pero sí constituye una parte importante: el pensamiento ilógico persistente no deja que avancen las humanidades, la política o la religión, y por supuesto tampoco la ciencia. Lo primero que hay que hacer para pensar lógicamente es pensar en forma clara, y esto puede fomentarse en las escuelas estimulando la escritura clara y llevando a cabo, en forma regular, ejercicios de “estructura de los argumentos”, donde se entregan fragmentos de textos y se les pide a los alumnos que identifiquen cuáles son premisas, cuáles son pasos intermedios y cuáles conclusiones; luego deben dibujar diagramas de argumentación que muestran qué relaciones existen entre cada cosa y finalmente responder preguntas sobre qué afirmaciones tienen que ser rechazadas para evitar la conclusión, qué afirmaciones son suficientes para que sea rechazada, en el caso de afirmaciones dobles, si ambas tienen que ser rechazadas o sólo uno de los miembros de la dupla, cuál es la diferencia entre afirmaciones conjuntas y desagrupadas, etcétera.[31]

Buena parte de la evidencia sugiere que las escuelas, y en particular los programas de ciencia, tienen que hacer más cosas para promover el pensamiento lógico. Un pequeño estudio realizado en Australia por Gordon Cochaud (1989) muestra en forma sugerente los problemas que tienen los alumnos con la lógica básica. Cochaud les aplicó una breve prueba de lógica, de 10 reactivos, a alumnos de ciencia de primer año en una universidad australiana. Entre los reactivos se encontraba éste, en el que los alumnos tenían que

completar la conclusión:

> Si uno añade iones de cloro a una solución de plata se produce un precipitado blanco. La adición de iones de cloro a la solución K produjo un precipitado blanco. Por lo tanto…

En su grupo de 65 alumnos, 48 respondieron que la solución K contenía plata. Así pues, tres cuartas partes de un grupo de graduados de la preparatoria de alto rendimiento, que habían estudiado ciencia por al menos seis años, se dejaron llevar por un razonamiento fundamentalmente fallido. No es de sorprender que, como ciudadanos, se dejen persuadir fácilmente por argumentos del tipo:

> Los comunistas apoyan el sindicalismo.
> Pedro apoya el sindicalismo.
> Por lo tanto, Pedro es un comunista.

Los resultados de otro de los reactivos resultan asombrosos. Se les pidió a los alumnos que completaran el siguiente silogismo:

> Si un elemento tiene una electronegatividad baja, entonces es un metal.
> El elemento sodio es un metal.
> Por lo tanto…

Cincuenta y nueve de los 65 alumnos concluyeron, presumiblemente sólo con base en la información que se les dio, que el sodio tiene una electronegatividad baja. Resulta que su respuesta es correcta, pero no se desprende de la información que se les proporcionó. Sólo se seguiría de ella si la premisa fuera "si y sólo si un elemento…" Así, 90% de la *crème de la crème* de los graduados de preparatoria tiende a cometer errores lógicos básicos. No resulta sorprendente, pues, que argumentos que se presentan en la siguiente forma sean muy comunes y persuasivos:

> Si las personas son astutas y calculadoras pueden obtener prestaciones sociales.
> Pedro obtiene prestaciones sociales.
> Por lo tanto, Pedro es astuto y calculador.

Esto resulta preocupante en el contexto de los juicios con jurados y de otros aspectos de la vida social basados en la toma de decisiones democráticas.

En varios documentos curriculares se ha reconocido la dimensión racional de las habilidades científicas. Ehud Jungwirth (Jungwirth, 1987), en un completo estudio sobre el tema, enumera diversos puntos curriculares que hacen referencia a las habilidades de pensamiento crítico, lógico y analítico. Entre ellas están:

- permitir a los alumnos entender el método científico de aproximación a los problemas y sembrar en ellos hábitos de pensamiento lógico y sistemático

(Biología avanzada, Cabo de Buena Esperanza, Sudáfrica, 1977);

- buscar e identificar en los argumentos falacias lógicas y conclusiones inválidas (Queensland Board of Secundary School, Australia, 1983);
- las personas científicamente cultas tienen una base de conocimientos considerable […] y habilidades de procesamiento que le permiten al individuo […] pensar lógicamente (National Science Teachers Association, Estados Unidos, 1982).

Jungwirth estudió los procesos de razonamiento de 600 alumnos y 400 maestros en formación (graduados de una carrera científica) y alumnos universitarios de ciencia en tres países. Empleó reactivos curriculares y extracurriculares (de la vida diaria) que encarnaban los siguientes tipos de razonamientos fallidos:

1) asumir que los eventos que ocurren después de otros son causados por los primeros;
2) sacar conclusiones con base en un número insuficiente de casos;
3) sacar conclusiones con base en casos no representativos;
4) asumir que algo que es cierto en circunstancias específicas lo es en general;
5) imputar una significación causal a las correlaciones;
6) razonamientos tautológicos.

Estos resultados no son nada esperanzadores, dada la importancia del razonamiento, no sólo para la ciencia sino para el funcionamiento social y personal en general: votar en una elección, comprar un automóvil, decidir las políticas de un consejo escolar, determinar qué estuvo mal con el pastel que acaba de salir del horno, etc. Sus resultados se redondean y se resumen en el cuadro V.1; los porcentajes se refieren a los porcentajes de la población equivalente que cometen errores de los tipos antes mencionados (1-4).

CUADRO V.1. *Incidencia de razonamiento no válido*

Tipos de razonamiento fallido	*Alumnos de bachillerato*		*Alumnos universitarios*	
	Curriculares (%)	*Vida diaria (%)*	*Curriculares (%)*	*Vida diaria (%)*
1	40	50	30	25
2	30	40	30	40
3	15	50	60	60
4	35	50	30	60

Jungwirth reporta que los resultados de los reactivos 5 y 6 fueron comparables a los

anteriores; al sumar todos los resultados ofrece el siguiente resumen de sus hallazgos. Para los adultos, sólo quienes tienen estudios de posgrado mostraron un desempeño por arriba del nivel de 50%; los otros grupos con educación postsecundaria se encuentran por abajo, o muy por abajo, de ese nivel. En los reactivos sobre la vida cotidiana, ninguno de los grupos de adultos promedió por encima del nivel de las dos terceras partes. Para los estudiantes, ninguno de los grupos promedió más que ligeramente por arriba de 25% en los reactivos curriculares; en los reactivos de la vida cotidiana, los puntajes fueron más o menos dos veces más altos (Jungwirth, 1987, p. 51). Jungwirth concluye, no sin razón, que parte de las clases de historia deberían dedicarse a los rudimentos del razonamiento correcto, y que "durante la formación y la formación continua de maestros debería transmitírseles el mensaje de que 'cubrir una gran cantidad de información' no constituye el único componente, y ni siquiera el más importante, de la enseñanza de la ciencia" (Jungwirth, 1987, p. 57).

Jungwirth llama la atención sobre el hecho de que en este ámbito del razonamiento los ciegos guían a los ciegos. O, como dijo Marx, "¿quién educará a los educadores?" Jungwirth ha revisado la investigación sobre las habilidades de pensamiento de los maestros; los hallazgos no son mucho más esperanzadores que en el caso de los alumnos. Arnold Arons ha señalado que: "Obligamos a un gran porcentaje de alumnos a memorizar ciegamente al imponerles […] materiales que requieren de capacidades de razonamiento abstracto que aún no logran… y que muchos de sus maestros tampoco poseen" (Arons, 1974).

Tras aplicar el *Test on Logical Thinking* [Prueba de pensamiento lógico], Garnett y Tobin (1984) llegaron a la conclusión de que "muchos de estos maestros no poseen los patrones de razonamiento que parece desarrollar el plan de estudios de ciencia basado en actividades".

Lo que sugieren los estudios de Cochaud y Jungwirth es que el razonamiento lógico formal e informal debería enseñarse como parte de las clases de ciencia. Los científicos siempre tienen que hacer inferencias y sacar conclusiones; hacer ambas en forma incorrecta o ilógica en la escuela no permite ningún avance, y no ayuda a que estas habilidades fluyan desde la ciencia hacia otras materias y a la vida diaria, un efecto que sería deseable en una buena educación científica.

A los alumnos pueden dárseles ejemplos de las siguientes falacias lógicas formales, que son comunes tanto en las publicaciones cotidianas como en los libros de texto escolares, y entrenárseles así para reconocerlas y evitarlas.

- La falacia de la afirmación del consecuente:
  Si *P* entonces *Q*
  Q
  por lo tanto, *P*

- La falacia de la negación del antecedente:
  si *P* entonces *Q*
  no *P*
  por lo tanto, no *Q*

- La falacia del falso dilema:
  P o *Q*
  P
  por lo tanto, no *Q*

El capítulo anterior ilustró las ventajas de contar con una dimensión histórica de la enseñanza de la ciencia. La historia de la ciencia ofrece, además, un vehículo para que los alumnos conozcan un poco de lógica básica y para demostrar de qué modos la lógica está o no vinculada con un razonamiento científico concreto. Considérense, por ejemplo, los debates sobre el efecto fotoeléctrico que hemos discutido antes. El efecto fotoeléctrico, e incluso el experimento de Millikan, pueden demostrarse fácilmente en el aula. En vez de imponerles la teoría fotónica de Einstein y su ecuación como el camino fácil para vincular los dos famosos experimentos, puede aprovecharse la ocasión de forma diferente. El enfoque histórico muestra la indecisión con la cual incluso los grandes científicos proponen sus ideas; ejemplifica la variedad de interpretaciones sensatas y racionales que puede hacerse de los datos en cualquier momento y, al cabo, permite representar la distinción crucial entre ecuaciones o modelos matemáticos y su interpretación física.

La historia muestra cuántas relaciones diferentes se propusieron, a principios del siglo XX, para la energía fotovoltaica emitida y la frecuencia de la luz entrante. La filosofía puede plantear la pregunta de si los datos pueden probar una teoría particular, y en qué momento. Muchas teorías o ecuaciones diferentes pueden usar el mismo conjunto de datos. Estos datos no determinan una curva o ecuación particular, y mucho menos una interpretación física particular de la ecuación. Si se logra que los alumnos lo entiendan, reconocerán lo que Aristóteles ya sabía en el siglo IV a. C.: la falacia de la afirmación del consecuente, como la llamó. Aristóteles, y por supuesto otros antes que él, demostraron que los argumentos que adoptan la siguiente forma son inválidos:

T implica *O* (una teoría *T* implica una observación *O*)
O (se hace la observación *O*)
Por lo tanto, *T* (la teoría *T* es verdadera)

La conclusión no se sigue lógicamente, puesto que, del mismo modo que *T* implica *O*, puede haber muchas otras teorías conocidas o desconocidas *(Ts)* que también implican esta observación. La hipótesis de que llovió anoche implica que la calle estará mojada;

pero las hipótesis de que pasó el camión de la limpieza, se rompió una toma de agua o se encendió una manguera en el jardín también implican lo mismo. Así, la mera observación de que la calle está mojada no prueba ninguna hipótesis particular.

Este sencillo principio lógico ha sido un escollo para las aproximaciones empíricas a las ciencias naturales desde la época de Aristóteles hasta el presente. Es común que la gente sienta que la confirmación de las predicciones proporciona algún tipo de garantía para creer en una teoría; el principio lógico es que estas confirmaciones no pueden establecer la validez de una teoría, así que debe reconsiderarse el tipo de certezas que implica la confirmación de las predicciones. En la Edad Media se conocía como el problema de "guardar las apariencias".[32]

El tema central es que los hechos son susceptibles a una variedad de interpretaciones, o que una teoría científica no está determinada por su evidencia, lo que comúnmente se llama la "tesis Duhem-Quine". Pierre Duhem (1861-1916) subrayó este principio lógico en *The Aim and Structure of Physical Theory* [La teoría física: Su objetivo y su estructura] (Duhem, 1906/1954); Karl Popper (1902-1994) profundizó en algunas de sus consecuencias para la ciencia en *Logic of Scientific Discovery* [La lógica de la investigación científica] (Popper, 1934/1959), y Willard van Orman Quine (1908-2000) la desarrolló aún más en *From a Logical Point of View* [Desde un punto de vista lógico] (Quine, 1953). La tesis adopta dos formas. Una es la que sostiene santo Tomás de Aquino, en la cual no pueden usarse los resultados positivos de una predicción para establecer la validez de una teoría; la otra es la que defiende Duhem, en la cual la incapacidad de una teoría para confirmar predicciones no nos permite concluir que es falsa, porque las predicciones resultan no sólo de la teoría análizada sino de la teoría sumada a la descripción de la información sobre el contexto. Para Duhem existen límites a la "información sobre el contexto" o a los supuestos que pueden rescatar una teoría de la evidencia empírica que la contradice; para Quine no existen estos límites.[33] En palabras de Quine: "El conjunto de nuestros así llamados conocimientos o creencias, desde los asuntos más triviales de la geografía y la historia hasta las leyes más profundas de la física atómica o incluso la pura lógica matemática, son un entramado artificial que incide en la experiencia sólo a lo largo de las orillas" (Quine, 1951/ 1953, p. 43).

Algunos experimentos sencillos con los estudiantes, ejercicios de "caja negra" y otras actividades en las que ellos deben adivinar conexiones invisibles a partir del comportamiento de variables visibles, pueden poner en relieve la mayor parte de las falacias lógicas y ejemplificar distintas interpretaciones de los mismos eventos, pero estas actividades no ponen sobre la mesa un tema importante: cómo es que la ciencia progresa en realidad, y cómo se decide por la mejor de las teorías rivales. Los estudios históricos ofrecen un contexto que puede arrojar luz sobre los componentes de un razonamiento sólido. Con frecuencia, los mismos ejemplos históricos pueden demostrarle a los alumnos

la dimensión “extralógica” de la ciencia: el lugar que ocupa la metafísica en la determinación de la teoría y los programas de investigación, los usos legítimos e ilegítimos de la analogía y la metáfora en el argumento científico, etcétera.

Al menos desde la época de Aristóteles, a los filósofos les preocupa identificar y fomentar el pensamiento racional, aunque no asumen que es el único tipo de pensamiento humano que debe valorarse o cultivarse. La idea tradicionalmente ha sido que, si bien no existe un camino racional por excelencia para la teorización científica y la generación de hipótesis, la ciencia representa el ámbito supremo para el análisis racional de las afirmaciones y las creencias en conflicto; si existen desviaciones del pensamiento racional en ciencia éstas deben ser identificadas y justificadas. Este compromiso con el racionalismo en ciencia tipifica la postura ilustrada, y en general moderna, hacia la ciencia (Siegel, 1988, 1989). Sin embargo, durante las últimas décadas esta idea racionalista ha sido atacada por filósofos de la ciencia, algunos sociólogos de la ciencia y filósofos posmodernistas franceses y otros inspirados por ellos.

Estos ataques a la racionalidad afectan a los maestros de ciencia porque constituyen un desafío, y de hecho socavan una de las justificaciones centrales para enseñar ciencia, es decir, que ésta introduce a los niños a un ámbito de pensamiento y debate racional que tiene benéficos efectos de "derrama" sobre el resto de sus estudios y su vida cotidiana. Si decidir las disputas científicas realmente no es más que un problema de "psicología de masas", y si los avances científicos únicamente son lo que los grupos económica o políticamente más poderosos decretan que sean, con independencia de su valor epistémico, entonces las razones para incluir la ciencia en el plan de estudios se ven muy disminuidas.

Del mismo modo que Immanuel Kant despertó de su sueño dogmático al leer a David Hume, los filósofos de la ciencia racionalistas modernos fueron despertados por *La estructura de las revoluciones científicas* de Thomas Kuhn (Kuhn, 1962/1970). Con frecuencia, se interpretó que este texto afirmaba que los cambios en las teorías científicas dependen tanto de la psicología de masas y la muerte de los mayores como de la persuasión racional,[34] y que en la ciencia el progreso no tiene que construirse en forma de avances hacia una meta fija en la que se encuentra la verdad sobre la naturaleza. Paul Feyerabend extendió esta tesis en *Against Method* [Contra el método] (Feyerabend, 1975). Los filósofos de la ciencia respondieron muchas de estas acusaciones irracionalistas,[35] pero tan pronto lo hicieron la escuela de sociólogos de la ciencia de Edimburgo lanzó nuevas críticas contra el racionalismo como parte de su descripción, notablemente externalista, del cambio científico, el llamado "programa fuerte" de la sociología del conocimiento. El precursor de este programa fue *Knowledge and Social Imagery* [Conocimiento e imaginario social] de David Bloor (Bloor, 1976/1991); unos años más tarde le siguió *Interests and the Growth of Knowledge* [Los intereses y el desarrollo del conocimiento], de Barry Barnes (Barnes, 1977) y *Laboratory Life: The*

Social Construction of Scientific Facts [La vida en el laboratorio: la construcción social de los hechos científicos], de Bruno Latour y Stephen Woolgar (Latour y Woolgar, 1979/1986).[36] Al parecer, la historia y filosofía de la ciencia había dado un giro sociológico radical.

Los antecedentes del programa fuerte incluyen el "programa débil" de Karl Mannheim (Mannheim, 1936/1960) y Robert Merton (Merton, 1957), pero estos dos sociólogos históricos sólo buscaban identificar los factores culturales, sociales e ideológicos que conformaban la ciencia; no creían que las circunstancias externas dieran origen a los contenidos específicos de la ciencia o provocaran descubrimientos particulares. La ciencia depende de las matemáticas, la tecnología, la educación, el financiamiento, los medios de comunicación, la filosofía y muchas cosas más; que el programa débil identificara todos estos factores resulta admirable. Este programa fue anunciado por Karl Mark (1818-1883), quien, en el inicio de *El dieciocho brumario de Luis Bonaparte,* escribió estas famosas líneas: "Los hombres hacen su propia historia, pero no la hacen arbitrariamente, en las condiciones elegidas por ellos, sino en condiciones directamente dadas y heredadas del pasado" (Marx, 1852/1969, p. 398).

Ni Marx ni Mannheim o Merton pensaban que, si Newton hubiera sido criado como hinduista o si el capitalismo hubiera triunfado ya en la Inglaterra del siglo XVII, la ley de la inversa del cuadrado se habría convertido en la ley de la inversa del cubo. Sin embargo, los sociólogos del conocimiento científico de Edimburgo, cuyo programa de investigación buscaba dar cuenta de las causas externas que modifican los contenidos de la ciencia, lo sugieren, o incluso lo implican.

De manera paralela a estas corrientes, la filosofía posmodernista francesa, en particular la influida por Michel Foucault, afirmaba que todos los sistemas de ideas, incluida la ciencia, estaban íntimamente vinculados con la distribución de poder en la sociedad, y que los cambios en las ideas no podían explicarse por factores epistemológicos sino por factores sociales. Se trata de una prolongación de la idea marxista de la superestructura social (sistemas de ideas e ideologías) que se determinaba por una base material. La tradición marxista ha tenido problemas para decidir si las matemáticas y las ciencias naturales están sujetas a este tipo de determinaciones; algunos han exentado a las matemáticas. Foucault y su tradición enfrentan el mismo problema.[37]

Los maestros de ciencia y los formadores de maestros deben estar conscientes de este ataque multifrontal a los supuestos racionales de la ciencia. Con sólo hojear los libros de teoría educativa o las revistas de enseñanza de la ciencia saltarán a la vista todos los nombres antes mencionados, y varias conclusiones sobre la "naturaleza de la ciencia" y cómo hacer una buena enseñanza de la ciencia con base en su trabajo. Hay mucha labor sociológica que resulta útil y amplía nuestra comprensión sobre cómo es que ocurre el proceso de toma de decisiones y de cambio teórico en ciencia. El papel de las elites en

una comunidad científica y su control de los órganos de publicación, la función de la retórica en los argumentos científicos, la influencia que tienen el poder económico y diversos intereses sobre el financiamiento de la investigación y la determinación de qué problemas deben investigarse y cuáles evitarse son asuntos que hay que tomar en cuenta y que ofrecen una perspectiva más rica y realista de la actividad científica. Por añadidura, es correcto señalar que las concepciones de racionalidad han ido cambiando con el tiempo: el ideal aristotélico es diferente del de los empiristas británicos, que es distinto del de los falsacionistas modernos o el de los probabilistas bayesianos. Existe una dimensión histórica de la racionalidad, pero en el programa fuerte y en los ataques posmodernistas a la racionalidad científica también existen muchas afirmaciones que son fundamentalmente erróneas y muy dañinas en términos educativos (Shackel, 2005).

David Bloor enumera cuatro compromisos que caracterizan el núcleo de la teoría de la ciencia y del conocimiento científico del programa fuerte (Bloor, 1976/1991, p. 7):

- *Causalidad:* Una descripción correcta de la ciencia sería de naturaleza causal, es decir, atenta a las condiciones que dan origen a creencias individuales o teorías científicas.
- *Imparcialidad:* Es imparcial con respecto a la verdad o falsedad, la racionalidad o irracionalidad, las teorías aceptadas o rechazadas.
- *Simetría:* Sería simétrica en su estilo de explicación. Los mismos tipos de causa explicarían las creencias falsas y verdaderas, racionales e irracionales.
- *Reflexividad:* Sería reflexiva. En principio sus patrones de explicación podrían aplicarse a la sociología misma.

Reconocer que hay condiciones necesarias para hacer ciencia e incluso para el surgimiento de teorías y creencias científicas es un paso importante, pero convertirlas en condiciones suficientes es un error. Tanto el newtonismo como el darwinismo tenían lazos con la vida y la cultura inglesas de los siglos XVII y XIX, respectivamente; hasta podría decirse que nacieron a partir de sus culturas, pero lo último no explica lo primero: los orígenes de las creencias no determinan si son verdaderas o falsas. Ésta es la falacia genética. Hubo una infinidad de personas que compartieron exactamente las mismas circunstancias vitales de Newton y de Darwin, pero sus respectivas teorías no fueron forzadas, por decirlo de algún modo, por sus circunstancias. El problema central que pasan por alto los sociólogos del programa fuerte es en qué medida es válida o razonable una teoría como fundamento para creer en ella. Muchas discusiones acaloradas se concentran en determinar si las razones se reconocen como causas. Si tener una buena razón para creer algo puede considerarse una causa para creerlo, entonces los sociólogos, los filósofos y los pedagogos están todos en el mismo barco.

No hay por qué buscar causas sociológicas externas para que la gente crea que “2 + 2 = 4”. Si hubiera una creencia extendida de que “2 + 2 = 5” entonces habría que empezar

a buscar causas externas. “¿Esto es lo que cree el rey?” “¿Es lo que exige el partido gobernante?” “¿El 4 es un número de mala suerte que no puede mencionarse?” “¿Quien lo dice tuvo un maestro particularmente incompetente?” Cuanto más improbable, errónea e irracional sea la creencia, más enérgicamente hay que buscar causas externas. Sin embargo, la tesis de la imparcialidad del programa fuerte invalida esta sensata opción. En el capítulo VIII se argumentará que el constructivismo es una de estas teorías educativas/filosóficas improbables. David Geary, un psicólogo que concuerda con esta estimación, ofrece una descripción externalista de su popularidad.

> En resumen, el constructivismo es en buena medida un reflejo de las creencias culturales estadunidenses actuales, y como tal implica el desarrollo de técnicas educativas que tratan de convertir la adquisición de habilidades matemáticas complejas en una actividad social agradable que los individuos llevarán a cabo por decisión e interés propios [Geary, 1995, p. 32].

En el nivel superior del programa sociológico, existe una confusión entre determinar lo que realmente sucede en algunas circunstancias específicas y los pronunciamientos sobre lo que debería pasar en general en la actividad científica. A principios del siglo XVII, Francis Bacon le advirtió a sus lectores sobre el funcionamiento de los que llamó “los ídolos de la mente”, y que eran las diversas formas en las que pueden distorsionarse los esfuerzos por entender el mundo: la ausencia de un lenguaje adecuado para pensar y escribir; los efectos corrosivos del interés personal; que la gente cree más fácilmente lo que quiere creer, y el ejercicio directo del poder social que esgrimen los grupos dominantes. Buena parte de la sociología de la ciencia contemporánea es una prolongación de esta precoz investigación baconiana. Sin embargo, Bacon tuvo mucho cuidado en identificar el funcionamiento de los “ídolos” precisamente con el fin de superar o compensar sus efectos. Es decir, distinguió lo que a veces ocurre de lo que debería ocurrir durante la búsqueda del conocimiento. Siempre que los sociólogos señalan la forma en la que funcionan los ídolos contemporáneos, o los viejos ídolos con nuevos ropajes, podemos preguntar: ¿Es deseable que estos mecanismos, procedimientos o influencias existan en la ciencia? Esta última pregunta normativa es la que formulan los filósofos de la ciencia, y también es la que se anima a los alumnos a formular. Entonces, si los efectos de la clase, el género, la raza, el poder, la religión, el interés personal y otros se identifican como perniciosos y contrarios a la actividad científica, es razonable determinar cuál es el ideal según el cual se juzgan estas fallas.

Ahora bien, es cierto que para la causa racional sería una vergüenza que no pudieran encontrarse ejemplos de cambio científico en los cuales las consideraciones epistemológicas o las basadas en evidencia resultaran determinantes, pero no es motivo de vergüenza que se descubran algunos ejemplos de determinación no epistemológica. Y de hecho se han documentado muchos de este tipo: la larga historia de las pruebas de inteligencia y su teoría asociada ahora nos parecen casi totalmente motivadas por

intereses de clase, raza y género que básicamente están ocultas, enterradas o implícitas,[38] y las décadas de genética —o más correctamente antigenética— lysenkista en la Unión Soviética se consideran hoy propiciadas, por un lado, por los intereses del Partido Comunista y, por el otro, por una metafísica errada.[39] Sin embargo, estos casos pueden identificarse, y nos llaman la atención porque tenemos ciertas nociones de que se apartan de los procedimientos científicos correctos.

Además, sin estas convicciones normativas no tendríamos derecho a quejarnos sobre las aberraciones antes mencionadas: si el poder es conocimiento, entonces la clase dominante, los hombres blancos y el Partido Comunista sin duda tenían poder, y por lo tanto el funcionamiento de este poder debe producir, por definición, conocimiento. Pocas personas, y menos aún las minorías y los desempoderados, querrían aceptar esta conclusión.

Ya se ha dicho lo suficiente para sostener que la discusión sobre la racionalidad de la ciencia es pertinente para la enseñanza de la ciencia. Harvey Siegel defiende la racionalidad y la explicación de las razones como el sello distintivo de la enseñanza de la ciencia (Siegel, 1989, 1993). Martin Eger se ocupa de cómo esta concepción admite el papel del compromiso, o la fe, que ha sido tan importante para el desarrollo de la ciencia (Eger, 1988, 1989). La fe, o el compromiso filosófico, no tienen por qué ser irracionales. Estos compromisos pueden ponerse a prueba mediante la evaluación de sus logros o implicaciones científicas o experimentales. Siegel (1993) aborda el problema de una filosofía de la ciencia naturalizada, y cómo esta búsqueda, si resulta exitosa, tendría un impacto sobre nuestra comprensión sobre la racionalidad de la ciencia y la enseñanza de la ciencia en las aulas. Estos debates, y otros, deberían tener un lugar en los programas de formación de maestros, y pueden inspirar la enseñanza de la ciencia en la escuela.

Con una frecuencia cada vez mayor, en las aulas de ciencia se presentan problemas éticos. Los siguientes temas son ejemplos de los que mencionan los alumnos y que aparecen en los planes de estudio de ciencia nacionales: el efecto invernadero, el calentamiento global, la contaminación, la extinción de especies, la ingeniería genética, las pruebas genéticas a embriones para detectar enfermedades o géneros "indeseables", la tecnología militar y el uso de científicos en las industrias militares, el costo y la dirección de la investigación científica, la energía nuclear, la guerra nuclear, etc. Aparecen en forma explícita en los planes y programas basados en ciencia, tecnología y sociedad y en temas sociocientíficos que esperan que los alumnos se involucren con ellos como parte del plan de estudio.[40] Por añadidura, suelen ser parte de los objetivos de aprendizaje de casi todos los programas de naturaleza de la ciencia. El desarrollo del "juicio ético" es un objetivo consensado de los "criterios de evaluación de Dublín", ampliamente adoptados por las universidades europeas dentro de todos sus programas (Aalberts *et al.,* 2012).

Es importante que los maestros se esfuercen por hacer que las discusiones éticas resulten tan sofisticadas como la discusión científica en el aula. Una vez más, esto requiere que estén familiarizados con la historia y la filosofía de la disciplina, y en menor medida con el razonamiento ético informado. Refritear o repetir fórmulas populares puede servir, pero no mucho. A los maestros puede resultarles benéfico enfrascarse seriamente en estos problemas éticos y sociales, y sus clases pueden enriquecerse como consecuencia.[41] Como comenta Anna Couló:

> Para la enseñanza de la ciencia es relativamente fácil encontrar materiales interesantes y relevantes desde punto de vista sociocientífico (SCI) sobre el papel de los valores no cognitivos en el financiamiento de la investigación científica y sobre las consecuencias tecnológicas de la investigación científica. Es mucho más difícil, aunque no imposible, encontrar trabajos relacionados que estén enmarcados en una perspectiva más concretamente filosófica [Couló, 2014, p. 1090].

Las preguntas sociales, técnicas y éticas son inevitables y deben ser atendidas, y tanto la historia y la filosofía de la ciencia como la filosofía política pueden contribuir a una discusión más matizada e informada; ni los maestros ni los alumnos ganan mucho si estas discusiones se limitan a repetir eslóganes o a insistir en los prejuicios del momento.

La interconexión entre la ciencia y la ética resulta particularmente clara en los programas actuales de genética humana. El Proyecto Genoma Humano ha destinado 3% (90 millones) de su presupuesto de 3 000 millones de dólares a las ramificaciones éticas y legales. En Estados Unidos hay al menos tres programas estatales y nacionales de educación genética que se ocupan explícitamente de las dimensiones éticas y religiosas del Proyecto Genoma Humano.[42] El programa Biological Sciences Curriculum Study [Plan de Estudios de Ciencias Biológicas, BSCS] está esbozado en un documento de 94

páginas que se envió a todos los maestros de biología de Estados Unidos. Además de ocuparse de la ciencia del Proyecto Genoma Humano, invita a los alumnos a analizar y debatir los temas éticos y políticos que surgen a raíz de las pruebas genéticas y otras técnicas originadas en el proyecto. ¿Debería permitirse a las empresas hacerles pruebas a los eventuales empleados para detectar el gen de la enfermedad de Huntington? ¿Debería prohibírsele la bebida a aquellos en quienes se identifica una predisposición genética al alcoholismo? Sobre este tipo de decisiones dice que:

> Los individuos, las instituciones (escuelas, negocios y otras organizaciones) y la sociedad tendrán que vérselas con situaciones en las que se promueven unos intereses y se frenan otros. Cuando no pueden atenderse los intereses de todos, y cuando algunos se atienden a expensas de otros, ¿cuáles deben recibir prioridad? Las preguntas sobre los "tendrían que" se responden mejor desde la ética y la política pública [BSCS, 1992, p. 15].

Más recientemente, el US National Institute of Health publicó un curso de bioética para alumnos de preparatoria que está construido explícitamente alrededor de asuntos éticos originados e incorporados en la biología (NIH, 2009).

Desde 2005, en Inglaterra y Gales existe un curso de biología avanzado para jóvenes de 16 a 18 años de edad —Salters-Nuffield Advanced Biology— que se enseña mediante contextos y que hace un fuerte énfasis en los aspectos sociales de la biología y el análisis ético de los problemas biológicos. Michael Reiss, uno de los artífices del curso, identifica cuatro razones para enseñar ética en el aula de ciencia: aumentar la sensibilidad ética de los alumnos, incrementar sus conocimientos éticos, mejorar sus juicios éticos y hacerlos mejores personas (Reiss, 2008).

En un influyente artículo que defiende la enseñanza de la naturaleza de la ciencia, Norman Lederman dice que todos los alumnos deberían aprender los "valores y creencias inherentes al conocimiento científico y su avance" (Lederman, 2004, p. 303). Sin embargo, esta exhortación se queda coja: no se indica cuáles son esos valores inherentes a enseñar. Tampoco se enumeran entre las siete características de la naturaleza de la ciencia, repetidas con mucha frecuencia (Lederman *et al.,* 2002). La historia y filosofía de la ciencia puede contribuir a darle cuerpo a esta característica crucial de la ciencia y a mejorar así las formas de enseñarla.

Los valores como externos a la ciencia

Es posible que los alumnos sean capaces de reconocer que los valores económicos, políticos, religiosos y filosóficos desempeñan un papel externo en las conductas de la ciencia. Esto es sano en sí mismo; le pone una especie de freno a los excesos científicos. Qué áreas de investigación reciban financiamiento depende de ciertos valores y también

del resultado de la competencia de intereses. La influencia de los valores puede verse fácilmente en la investigación en medicina, agricultura, comunicaciones y desarrollo de armas. Es bien sabido que en 1961 el presidente Dwight Eisenhower, próximo a dejar el cargo, se refirió al peligro que presentaba el "complejo militar-industrial" para la sociedad estadunidense; habría sido más preciso que se refiriera al "complejo militar-industrial-científico". En la Alemania nazi,[43] la Unión Soviética[44] y Estados Unidos[45] una cantidad enorme, abrumadora, de recursos científicos se destinaron a la investigación militar y a la de las grandes empresas privadas y estatales; por supuesto, lo mismo ocurrió en el Reino Unido, China, Japón, Canadá y cualquier otra economía avanzada. En todos estos países el complejo militar-industrial-científico depende de lo que ocurra en salones de ciencia en la escuela: si estos últimos son irreflexivos y acríticos es muy probable que el primero lo sea también.

Como un microejemplo, considérese cómo, a finales de la década de 1970, la industria agrícola le pagó a la Universidad de California cientos de miles de dólares para producir un tomate que pudiera cosecharse en forma mecánica y frustrar así los esfuerzos del United Farm Workers, el sindicato conducido por César Chávez, para irse a la huelga. En ese momento, los tomates eran casi la última área de la agricultura comercial que aún dependía íntimamente de la mano de obra a gran escala y por lo tanto estaba madura, por así decirlo, para la huelga. Los científicos de la universidad podrían haber trabajado para que los tomates crecieran mejor en huertos urbanos o techos, pero los financiaba la industria agrícola, así que se dedicaron a hacer tomates más resistentes, de piel más gruesa, más uniformes —si hubieran sido cúbicos, mejor— para que fueran más fáciles de empacar y de usar en la elaboración de sándwiches comerciales. La ciencia había sido cooptada, y estaba muy claro a qué intereses servía. La toma de conciencia generalizada sobre este nexo condujo a la formación de grupos como Science for The People [Ciencia para la Gente], Scientists for Nuclear Disarmament [Científicos por el Desarme Nuclear] y otros. También es, en parte, la razón por la cual la International Organisation of Science and Technology Education (IOSTE) dice que: "En forma consistente con nuestra misión de fomentar el uso pacífico y ético de la ciencia y la tecnología en beneficio de la humanidad, la IOSTE se opone a que el gobierno u otras organizaciones empleen la ciencia y la tecnología con propósitos militares contra civiles" (http://ioste.nmmu.ac.za).

Del mismo modo que los intereses militares, políticos y empresariales influyen sobre la ciencia, también lo hace la filosofía. Ésta es una idea muy popular, y muy bien formulada aquí por Alexandre Koyré: en efecto, opino que el papel de este 'trasfondo filosófico' siempre ha sido de la mayor importancia y que, en la historia, la influencia de la filosofía sobre la ciencia siempre ha sido tan importante como la influencia —que todos admiten que existe— de la ciencia sobre la filosofía" (Koyré, 1954, p. 192). Se

discute mucho si la metafísica realmente es externa a la ciencia; el argumento de que la metafísica es interna a la ciencia es muy poderoso, como ya se discutió en las primeras páginas de este capítulo.

Los intereses religiosos son otra de las influencias externas importantes que moldean la forma y la trayectoria de la ciencia. En países en donde la Iglesia católica romana tiene mucho poder político hay poca —o nula— investigación sobre la anticoncepción, los abortos seguros, la eutanasia simple, etc.; la clonación y la investigación sobre células madre están cuidadosamente controladas. Allí donde el islam sea dominante, la investigación sobre los orígenes del hombre será mínima. Como ocurre con la metafísica, puede argumentarse que existen posturas teológicas que son internas a distintos paradigmas científicos y a la investigación que se realiza dentro de esos paradigmas; como ejemplo tenemos el caso, discutido previamente, sobre el espacio absoluto newtoniano y sus compromisos teológicos. Newton dijo que escribió los *Principia* para que los "hombres pudieran creer"; aquí la religión ofrece un propósito externo o motivación claros para la obra, pero muchos dijeron que ésta no se quedó fuera de los *Principia* sino que aparece como parte de sus argumentos. Que Joseph Priestley creyera en la Providencia desempeñó el mismo papel para que descubriera la fotosíntesis. La continua pelea intelectual (y política) ha versado sobre la posibilidad de que la ciencia corrija los compromisos religiosos que la han guiado o motivado.

Alaistair Crombie, el famoso historiador de la ciencia, se refirió a la influencia de la religión sobre la ciencia al explicar que la revolución científica no ocurriera en los siglos XIII o XIV a pesar de que no escaseaban los filósofos naturales brillantes y eruditos:

> Aunque parte del mejor trabajo científico medieval se hizo sobre problemas particulares que se estudiaron sin referencia a la teología o la filosofía, y ni siquiera a la metodología, fue dentro de este marco filosófico general, íntimamente conectada con la teología, y específicamente dentro del sistema de estudios universitarios organizado por los clérigos, que ocurrió el desarrollo nuclear de la ciencia medieval [Crombie, 1956, p. 114].

Un ambiente intelectual dominado por la todopoderosa Iglesia católica, que había adoptado una filosofía particular (el tomismo) como la "sirvienta" de su teología, impidió, sin más, el surgimiento de la ciencia moderna. Crombie continúa:

> Explica muchas cosas que son desconcertantes y hasta directamente perversas en un trabajo por lo demás excelente. Ayuda a explicar, por ejemplo, la brecha entre la recurrente insistencia en […] la verificación empírica y las muchas afirmaciones generales que nunca han sido probadas por la observación; peor aún, obtener satisfacción de los experimentos imaginarios es o incorrecto o imposible [Crombie, 1956, p. 116].

Ésta no es la orden directa, y bien conocida, que se le dio a Galileo de no enseñar o promover el sistema copernicano del mundo; dos siglos antes, la influencia de la Iglesia era menos inmediata y en mayor medida una parte integral de la estructura intelectual de

la época, pero no menos efectiva. Se compara más con la situación de la ciencia en todos los regímenes dictatoriales, donde hay una metafísica externa a la ciencia que controla y limita las teorías y los juicios científicos. Ha sido así en los estados católicos romanos, islámicos, comunistas e hinduistas, y una batalla secular en Estados Unidos, donde hay fundamentalistas cristianos que controlan los consejos escolares locales y obstaculizan la enseñanza de la evolución por razones religiosas.

En el primer nivel de análisis, estas influencias sobre la ciencia, y estos impactos de la ciencia, son externos a ella; dicha separación es una razón para distinguir la ciencia pura de la aplicada. A todos nos beneficia que se identifiquen y se analicen las influencias externas, y estos análisis y discusiones no tienen que limitarse a las clases de ciencia: pueden llevarse a cabo en las de historia, ciencias sociales, economía, literatura y religión. Muchas veces se supone que estos valores (políticos, comerciales, filosóficos, religiosos, personales) pertenecen al entorno de la ciencia, pero no a la actividad científica misma; que la ciencia misma está libre de valores. Para usar la terminología de Hume, la ciencia se ocupa de lo que es, y los valores de lo que debería ser, y no hay vínculos mutuos entre lo primero y lo segundo; los valores son el dominio de la ética, la política, la religión y las costumbres. A continuación, esbozaremos algunos problemas de esta generalizada suposición.

La ciencia libre de valores

La postura de la "ciencia libre de valores" tiene su origen en la opinión —por entonces progresista— de Max Weber (1864-1920) de que los sociólogos deberían limitarse a reportar la estructura y el funcionamiento de la sociedad, y no cómo la política, la religión o las clases conciben o juzgan a la sociedad (Weber, 1917/1949). En una Prusia muy reaccionaria, Weber fue un hombre políticamente liberal y un demócrata valiente y comprometido. Reconoció que los movimientos "progresistas" avanzaban al conocer la realidad, no al soñar sobre ella o al verla como les gustaría que fuera. Es la misma actitud que tomaron los primeros positivistas, igual de liberales, demócratas y socialistas, que siguieron intelectual y políticamente a Ernst Mach. Para estos positivistas también había un rompimiento entre los hechos y los valores; la buena ciencia estaba libre de valores. De hecho, para los positivistas duros las declaraciones de valor literalmente eran absurdas, por lo que no podían formar parte de la ciencia. Muchos maestros de ciencia comparten, y defienden, esta postura de la "ciencia libre de valores": creen que la búsqueda del conocimiento no encarna en sí ningún valor. Es la postura que la letra de Tom Lehrer hizo famosa, o tal vez tristemente célebre:

> "Once the rockets are up, who cares where they come down?

That's not my department", says Wernher von Braun.

["Cuando suben los cohetes, ¿a quién le importa dónde caigan?
Éste no es mi problema", dice Wernher von Braun.]

Pero las reflexiones de la historia y filosofía de la ciencia vuelven esa postura de la "ausencia de valores" más problemática y también más interesante, y su análisis más útil en términos educativos.

Hace mucho que se reconoce la influencia externa sobre el comportamiento de la ciencia, o en general sobre su comprensión del mundo. Francis Bacon, en su *Novum Organum* (1620/1960) escribió sobre los ídolos de la mente y la necesidad de reconocerlos y corregir las influencias psicológicas, lingüísticas, económicas y culturales que pueden distorsionar la comprensión.[46] El primer capítulo de este debate fue el de si se han identificado todas estas influencias: las feministas han argumentado que el género no formaba parte de la lista de Bacon, lo cual es comprensible, pero tampoco han aparecido en muchas listas después de él; los marxistas sostienen lo mismo respecto a la clase; la teoría *queer* dice lo mismo sobre los supuestos heterosexuales que operan en la ciencia; los defensores de la ciencia indígena señalan que las suposiciones "occidentales" tampoco se han analizado, etc. El segundo capítulo ha discutido si estas influencias pueden compensarse, en particular la influencia de los valores sociales y personales sobre las conductas de la ciencia. Si las influencias son locales e incorregibles implica que la imposibilidad de corregirlas o de "hacerles concesiones" vulnera la objetividad o la universalidad de la ciencia.

Bacon reconoció en *New Atlantis* que los valores éticos y cívicos tienen que formar la base del comportamiento de la filosofía natural; la Royal Society, donde la honestidad, la gentileza, la tolerancia y la modestia eran ideales, e incluso reglas, fue la encarnación de estos principios (Sargent, 2005). Trescientos años después de Bacon, Robert Merton codificó los valores éticos que se necesitan para hacer ciencia; dijo que para que la empresa común que es la ciencia sea capaz de alcanzar con éxito su meta de descubrir cosas sobre el mundo e interactuar en forma efectiva con él, se requiere que ésta encarne cuatro valores (Merton, 1942/1973): *comunalismo* (los resultados científicos deben ser públicos y estar al alcance de todos), *universalismo* (cualquiera puede contribuir a la ciencia, sin importar su religión, raza, clase, género, etc.), *imparcialidad* (los participantes deben decir la verdad sin importar sus pérdidas o ganancias privadas) y *escepticismo* (todas las afirmaciones deben estar abiertas a la crítica, el debate y posiblemente al desistimiento o la revisión). John Ziman, en una obra muy difundida subtitulada *The Social Dimension of Knowledge* [La dimensión social del conocimiento] incluyó en esta lista la *originalidad* (la ciencia busca nuevas verdades, acoge nuevos métodos, usa explicaciones y teorías cada vez mejores) (Ziman, 1968). Esto permitió que

se adoptara una sigla de lo más conveniente, CUDOS (por sus componentes en inglés: *communalism, universalism, disinterestedness, originality* y *scepticism*),* para enumerar las normas científicas mertonianas.

Por supuesto, la ciencia no tuvo que esperar a que Merton publicara su texto para saber cuáles eran las condiciones de su propio éxito; Merton no hizo más que resumir y condensar prácticas que hacía mucho que existían. Pero reconocer las normas sí permitió que los valores cruzaran el foso y entraran al castillo de la ciencia; la idea de la ciencia libre de valores ya no podía sostenerse, o bien sólo podía hacerlo a expensas de retraerse más y quedarse siempre dentro de las murallas. Esto se hizo acordando que la ciencia es una búsqueda cargada de valores, caracterizada tal como lo esbozó Merton, pero dichos valores rigen la organización y los códigos de conducta de la ciencia —la construcción del castillo—, pero no su proceso central de toma de decisiones. Cuando se trata de decisiones sobre afirmaciones, hipótesis y teorías científicas que se han generado en un contexto mertoniano, la toma de decisiones está libre de valores. Siguiendo a Reichenbach, los valores sin duda gobiernan el contexto del descubrimiento, pero no tienen cabida en el contexto de la justificación (Reichenbach, 1938, pp. 6-7).

Los defensores de la ciencia libre de valores sólo tomaron un descanso temporal de esta postura. Hace 60 años, en un libro editado por el positivista Philipp Frank (Frank, 1954), Barrington Moore Jr. escribió:

> Actualmente pocas personas estarían de acuerdo con que la aceptación de las teorías científicas, incluso por parte de los científicos mismos, depende por completo de la evidencia lógica que se aduce en apoyo de estas teorías. Los factores externos relacionados con el clima filosófico y la sociedad en la que vive el científico desempeñan al menos una parte. El problema interesante, por lo tanto, no es el de verificar la existencia de dichos factores, sino analizar la magnitud de su impacto bajo distintas condiciones [Moore, 1954, p. 29].

El artículo de Moore se ocupaba de la ciencia en la Unión Soviética y trataba de la aceptación de las teorías, y no sólo de la dirección de la investigación o de las áreas en las que había que investigar. Reconoció que todas las sociedades humanas grandes necesitan "un conjunto de creencias sobre los propósitos de la vida y las formas en las que es legítimo o ilegítimo conseguir estos propósitos. Este conjunto de creencias conforma las verdades políticas de la sociedad" (Moore, 1954, p. 35). Podría haberlas llamado, tal vez, la "cosmovisión" de la sociedad. Aunque reconocía que existían influencias externas y admitía que había similitudes entre Estados Unidos y la Unión Soviética, Moore quería, *à la* Bacon, mantener las influencias fuera de la ciencia: "Por lo tanto, conforme la ciencia desarrolla sus propios cánones para validar sus proposiciones, es probable que llegue un momento en el que el credo político y el credo científico entren en conflicto" (Moore, 1954, p. 35).

Barrington Moore dejó abierto el tema de si el credo científico mismo encarna algunos valores. Richard Rudner no hizo lo mismo en uno de los capítulo de un libro antológico, titulado "Value judgments in the acceptance of theories" [Juicios de valor en la aceptación de teorías], donde escribió:[47]

> Creo que estas validaciones implican, esencialmente, hacer juicios de valor en un tema típicamente ético. Y hago énfasis en esencialmente para indicar que, en términos psicológicos, los científicos hacen juicios de valor durante estas validaciones —puesto que, como seres humanos, están hechos de forma tal que esto es virtualmente inevitable—, pero también que en la formación de dichos juicios está involucrada lógicamente la validación de hipótesis científicas, y por lo tanto que una reconstrucción lógica de este proceso implicaría afirmar que un juicio de valor es un paso imprescindible en el proceso [Rudner, 1954, p. 24].

Se trata de un desafío directo a la vieja postura positivista de que los valores se encuentran fuera del núcleo de la validación teórica. Así, Moore invitaba a los valores a cruzar las murallas del castillo. Concluye: "Lo que se propone aquí es que para la ciencia la objetividad se encuentra al menos en precisar cuáles son los juicios de valor que se están haciendo, cuáles pueden haberse hecho durante una investigación particular y, lo más desafiante de todo, qué decisiones deben tomarse con base en valores" (Rudner, 1954, p. 28).

Según una interpretación, la propuesta era clara: los científicos que hacen o asesoran políticas relacionadas con la ciencia tienen una obligación clara de hacer juicios de valor. ¿Qué equilibrios entre el dinero y la salud pueden alcanzarse al hacer recomendaciones sobre cuánto flúor añadir al suministro de agua para asegurar una protección efectiva contra las caries? Cuando recomiendan que un nuevo medicamento obtenga la aprobación del gobierno, los científicos deben cuantificar los pros y los contras de confiar en sus efectos inmediatos, seguros y positivos o bien de postergar la aprobación a causa de posibles consecuencias nocivas y desconocidas. Se trata, indiscutiblemente, de juicios de valor.

Hace 50 años, los filósofos señalaron, como respuesta a Rudner, que la ciencia calcula las probabilidades estimadas de ciertas enfermedades en ciertas circunstancias; la asesoría para el diseño de "políticas" elevará o reducirá esa probabilidad, dependiendo del costo y de qué tan mortal sea la enfermedad, pero quien haga esa asesoría en materia de políticas no actuará en su calidad de científico (Levi, 1960). El tema terminó por discernirse, pero la "ausencia de valores" aún se debate en la comunidad filosófica y en la de diseño de políticas.[48]

Otra forma de entender los argumentos, desde Bacon hasta los primeros positivistas, es que consistían en identificar y en distinguir los valores que deformaban e inhibían la ciencia de aquellos que la fomentaban. Sí, en la ciencia podía haber valores (afirmaciones

no empíricas y juicios), pero era importante aislar los ilegítimos de los legítimos, esos que promueven la ciencia.

Thomas Kuhn se dio a esta tarea en su conferencia Machette de 1973 sobre la "Objetividad, los juicios de valor y la elección de teorías" (Kuhn, 1977). Comenzó afirmando lo evidente: los científicos querían formular o adoptar buenas teorías científicas, y eso implica, inevitablemente, una valoración. Enumeró cinco características de una buena teoría:

- *Exactitud:* las consecuencias que pueden deducirse a partir de una buena teoría deberían coincidir, en forma demostrada, con los experimentos y las observaciones existentes.
- *Consistencia:* las buenas teorías son congruentes internamente y con las teorías actualmente aceptadas.
- *Amplitud:* las buenas teorías pueden aplicarse ampliamente; deben extenderse más allá de casos locales o particulares.
- *Simplicidad:* las buenas teorías deben ordenar fenómenos que, en su ausencia, permanecerían aislados o serían confusos.
- *Productividad:* las buenas teorías deberían revelar nuevos fenómenos y sugerir nuevas relaciones.

Todos estos son valores y son internos a la ciencia, no externos. Es importante notar que Kuhn se toma el trabajo de especificar que no se trata de reglas: "los criterios de selección […] no funcionan como reglas que determinan las selecciones sino como valores que influyen sobre ellas" (Kuhn, 1977, p. 331). Y como ocurre con todas las instancias de aplicación de los valores éticos hay margen de maniobra: las personas, incluso los expertos, pueden discrepar en su forma de sopesar valores en conflicto —simplicidad contra amplitud— o simplemente qué tan congruentes son dos teorías rivales.

El desarrollo y la crítica que hizo en 1983 Ernan McMullin sobre la descripción de Kuhn ha aparecido en muchas antologías. McMullin identifica la lista de Kuhn como una de valores epistémicos, porque se ocupan de la búsqueda del conocimiento, la verdad o el perfeccionamiento de la comprensión del mundo natural y social. Los contrasta con los valores no epistémicos, que incluyen los rasgos que Merton identificó como necesarios para la búsqueda social de la ciencia —honestidad, apertura, inclusión— y también con la lista, enormemente amplia, de valores "políticos, sociales, morales y religiosos" a los que se puede recurrir para explicar la brecha entre una teoría infradeterminada y la evidencia cuando un científico selecciona una teoría (McMullin, 1983, p. 19).

McMullin "retrabaja sólo un poquito su lista [la de Kuhn]" y produce la siguiente lista de valores cognitivos o epistémicos:

- *Precisión predictiva:* pero sólo hasta cierto punto; en las primeras etapas todas

las teorías precisas son desmentidas por la evidencia.

- *Coherencia interna:* no debería haber contradicciones o coincidencias sin explicar.
- *Congruencia externa:* debería esperarse que las teorías fueran coherentes con las mejores teorías del momento y con la ontología aceptada.
- *Capacidad de unificación:* tal como la tuvo la teoría electromagnética de Maxwell o la tectónica de placas.
- *Fertilidad:* la habilidad prolongada de generar e incorporar nuevos hallazgos.
- *Simplicidad:* un rasgo deseable, pero más fácil de decir que de lograr.[49]

McMullin concuerda con Kuhn en que estos valores funcionan tal como lo hacen típicamente los valores: no son reglas que puedan aplicarse en forma insensata, y suelen existir pros y contras sobre los que pueden estar en desacuerdo los científicos razonables (McMullin, 1983, p. 16).

McMullin llama la atención, y con razón, hacia los valores epistémicos “no estándares” que dominan la ciencia; los principales son los compromisos metafísicos y religiosos. El caso de Newton se discutió arriba; los debates de Einstein-Bohr sobre la interpretación de la teoría cuántica, del debate del “equilibrio puntuado” en la biología evolutiva y muchos debates como éstos ejemplifican asimismo la forma en la que operan los valores “no estándares”.

Peter Kosso comienza su discusión sobre las “virtudes internas y externas” en estos términos:

> La teorías son como las manzanas: hay buenas y malas […] Todas las manzanas tienen algunas características que indican que son buenas […] Del mismo modo, las teorías tienen rasgos que indican que son verdaderas, y la tarea de justificarlas consiste en identificar estas características y usarlas para orientar la decisiones sobre qué teorías debemos creer [Kosso, 1992, p. 27].

De manera provisional, Kosso distingue las características internas de las buenas teorías de las externas. Por “internas” se refiere a las características de las teorías que pueden identificarse y evaluarse con sólo estudiar la teoría, y no el mundo. Así, la congruencia lógica “es un claro ejemplo de una característica interna” (Kosso, 1992, p. 30). Según Kosso, otras virtudes internas que permiten acercar las teorías a la verdad son:

- *Consolidación:* un valor conservador, que consiste en que se reconozca la congruencia de una teoría dentro de las teorías y el conocimiento establecidos.
- *Cooperación explicativa:* una teoría acumula méritos si explica por qué las teorías consolidadas pueden explicar a su vez los fenómenos.
- *Comprobabilidad:* cualquier buena teoría debe tener consecuencias que se pueden comprobar empíricamente; esto no garantiza que sea correcta, pero es

una condición necesaria para las teorías verdaderas.

- *Generalidad:* si asumimos que existe un mundo natural y social simple, que funciona con base en pocos mecanismos, mientras más general sea la teoría acerca del tiempo y el espacio, más probable es que sea verdadera; si no asumimos esta simplicidad, la generalidad de la teoría no es más que una virtud pragmática o estética.
- *Simplicidad:* si el mundo es simple, entonces las teorías simples tienen más probabilidades de ser correctas; ésta es la razón por la cual se prefieren las "líneas de mejor ajuste" y sus ecuaciones que las líneas que unen todos los puntos; es la idea que está detrás de la navaja de Ockham.

Todos estos valores, y otros adicionales, como la estética, tienen que ver con la apariencia de la teoría; algunos pueden determinarse, hasta cierto punto, analizando la teoría y su entorno intelectual. En contraste, las virtudes externas "son relevantes para las relaciones de la teoría con el mundo" (Kosso, 1992, p. 31). Para Kosso estas relaciones son explicación y confirmación.

Está claro que la identificación, el análisis, el compromiso y la inculcación de valores epistémicos dependen de las visiones particulares de la ciencia. Todas las virtudes anteriores, enumeradas por Kuhn, McMullin y Kosso, dependen de que se esté de acuerdo con que el objetivo de la ciencia es buscar la verdad. Este valor puede entenderse como uno más fundamental que permite que existan algunas o todas las virtudes epistémicas mencionadas. Si la gente está comprometida con los otros objetivos de la ciencia —conservar la cultura tradicional, incrementar las ganancias de las empresas, enriquecer al Estado, apoyar una religión, "saber en qué parte del horno poner el soufflé", etc.—, las virtudes asociadas se modificarán en consecuencia. Por supuesto, algunos de estos objetivos extraepistémicos requerirán valores de verdad, así que incluso si se considera que un objetivo social es fundamental no se invalidará la operación de virtudes epistémicas. Al Estado no le irá bien durante mucho tiempo si su ciencia subordinada es incapaz de decir algo cierto sobre el mundo: el Estado no se ve beneficiado cuando los cohetes no pueden despegar (Corea del Norte) o cuando sus cosechas fracasan en forma masiva (Unión Soviética). El realismo aplicado a la ciencia y el racionalismo a la toma de decisiones científicas ayudan a identificar e inculcar más fácilmente los valores epistémicos. Y los valores tienen que establecerse en forma empírica, no desde un terreno psicológico o ideológico; su funcionamiento tiene que entenderse como una contribución al éxito científico. De este modo, reconocer que la ciencia está cargada de valores no implica que no pueda ser universal u objetiva.

Durante el último medio siglo, se han publicado muchas e importantes críticas feministas a la ciencia; se ha desarrollado un característico programa de investigación de "feminismo y ciencia" cuyos argumentos han tenido un gran impacto en la filosofía, en la filosofía de la ciencia y en la enseñanza de la ciencia (Noddings, 2009). El programa de investigación feminista ha tenido tres ramificaciones principales. La primera, una rama "práctica", se ocupa de incrementar la participación de las mujeres en la ciencia escolar, universitaria e industrial y de la recuperación de científicas "perdidas" en los libros de texto y las historias de la ciencia. Esta rama acepta la ciencia ortodoxa y busca lograr que las mujeres participen cada vez más en ella mediante clases de ciencia "sólo para chicas", experimentos situados en la cocina y otros (Rosser, 1986, 1993).

En segundo lugar, hay una rama "crítica" o "empírica" que busca mejorar la ciencia ortodoxa al reconocer y corregir mecanismos mediante los cuales los sesgos hacia lo masculino han corrompido distintos componentes de la ciencia. Estas feministas aceptan la imagen normativa estándar de la ciencia como una búsqueda racional de verdades universales y objetivas sobre el mundo; sus críticas se concentran en la forma en la que este ideal normativo se ve comprometido, en casos particulares, por sesgos de género no atendidos al identificar campos de investigación, al delimitar preguntas de investigación, al definir métodos y al interpretar resultados. Los estudios de Ruth Hubbard (1979), Carol Gilligan (1982), Donna Haraway (1989), Nancy Tuana (1989a) y Kathleen Okruhlik (1994) sobre los sesos y la ideología de género en la teoría evolutiva, la investigación del desarrollo moral de Kolberg, la primatología, la teoría reproductiva y las ciencias biológicas, respectivamente, son ejemplos bien conocidos de este género.

Las feministas empíricas creían que la ciencia del momento podía corregirse y que las ideas feministas podían ayudarla a avanzar hacia sus metas en la búsqueda de la verdad. Este trabajo estaba vinculado —y se inspiró en cierta medida— en los estudios marxistas sobre la presunta deformación de la economía y las ciencias sociales por supuestos de clase "ocultos" (Hartsock, 1983). Para los marxistas, su propia economía política no era más que una ciencia económica que era mejor gracias a que "entendía" el mundo de manera más informada, a que prestaba atención a factores que la economía "burguesa" tradicional ignoraba. Del mismo modo, para las feministas empíricas su ciencia era mejor porque reconocía nuevas cosas sobre los mecanismos que funcionan en el mundo y tenían mejores maneras de estudiarlos.

Estas feministas empíricas eran realistas científicas y, como tales, el valor de sus análisis específicos residía en una pregunta empírica sobre cuánto podían comprender sobre su tema mediante una ciencia basada y corregida por el feminismo. Algunos estudios fueron elogiados, otros refutados vigorosamente. Susan Cachel, en una reseña crítica del libro sobre primatología de Haraway, muy popular y ampliamente leído,

escribe que para la autora:

> La primatología no es ciencia sino narrativa. La autora interpreta "textos" y "subtextos" del mismo modo que los críticos literarios ofrecen distintas lecturas o múltiples perspectivas sobre un texto. La idea de que los hechos deben ser el centro de atención resulta desconocida para el libro; en su lugar, la autora trata con "hechos". Una teoría es tan válida como otra, y no hay nada que controle o delimite su discurso excepto gustos personales o agendas políticas […] Si uno no supiera ya algo sobre el contexto, este libro no constituiría una historia coherente de la antropología o la primatología [Cachel, 1990, pp. 139, 141].

Para Cachel, el feminismo de Haraway claramente no le permitió hacer una contribución original a nuestra comprensión de los primates o a la ciencia de la primatología. Como sucede con todas las afirmaciones científicas, el resto de las contribuciones feministas tienen que analizarse caso por caso y valorarse con base en la naturaleza: ¿el trabajo expandió o no nuestro conocimiento sobre el tema?

En tercer lugar, en el feminismo ha habido una tradición más "filosófica" en la cual buena parte de la comprensión ortodoxa de la ciencia y de sus metas se rechaza sin más. Entre las primeras contribuciones al programa filosófico feminista se encuentra, entre otras, las de Ruth Bleier (1984), Evelyn Fox Keller (1985, 1987), Sandra Harding (1986), Helen Longino (1989) y Jane Roland Martin (1989).[50] Sandra Harding y Merrill Hintikka prometieron que la teoría feminista produciría cambios "absolutos" en la ciencia, en su metodología y en su elección de problemas de investigación. En la introducción de una importante antología, escribieron: "Ahora nos enfrentamos a un proyecto más fundamental. Tenemos que arrancar las distorsiones y las perversiones sexistas de la epistemología, la metafísica, la metodología y la filosofía de la ciencia; del núcleo duro del razonamiento abstracto más inmune a la infiltración de valores sociales" (Harding y Hintikka, 1983, p. ix).

Unos años después, Harding escribiría que esta ciencia "feminista" mejorada haría entrar en el núcleo de la actividad a los que antes se consideraban "ídolos" baconianos, pero que éste no era un problema puesto que la ciencia feminista:

> Busca una unidad de conocimiento que combine la comprensión moral y política con la comprensión empírica. Y busca unificar el conocimiento del corazón y con el corazón con el que se obtiene mediante el cerebro y la mano. Busca que la investigación comprenda no sólo la mera observación mecánica de la naturaleza y de los otros, sino la intervención política y la iluminación moral "sin las cuales no pueden develarse los secretos de la naturaleza" [S. G. Harding, 1986, p. 241].

Esta orientación fue la que condujo a Harding a adoptar el "conocimiento situado" (Harding, 1991, cap. 5). En esta teoría de la ciencia, no es posible superar los sesgos; no hay un "punto de vista neutral"; el conocimiento sólo puede avanzar mediante una multiplicidad de perspectivas, y la perspectiva o punto de vista feminista tiene un mérito epistemológico especial. Escribió: "En la nueva investigación feminista, las características

distintivas de las situaciones de la mujer en una sociedad estratificada por géneros se usan como recursos […] para producir descripciones empíricamente más precisas y explicaciones teóricamente más ricas que la investigación convencional" (Harding, 1991, p. 119).

Nancy Brickhouse resume atinadamente los compromisos de este programa:

> Las epistemologías feministas [han tenido] un efecto importante sobre la enseñanza de la ciencia. El trabajo de feministas como Evelyn Fox Keller, Donna Haraway y Sandra Harding mostraron las formas en las que el conocimiento científico, como otras formas de conocimiento, está situado culturalmente y por lo tanto refleja las ideologías de género y raza de las sociedades. El conocimiento científico, como otras formas de conocimiento, tiene género. La ciencia no puede producir conocimiento libre de cultura, de género neutral, porque la epistemología de la ciencia ilustrada está imbuida de significados culturales del género. Esta crítica feminista de la epistemología ilustrada describe cómo la Ilustración dio origen a dualismos (por ejemplo, masculino-femenino, naturaleza-cultura, objetividad-subjetividad, razón-emoción, mente-cuerpo) que están relacionados con el dualismo hombre-mujer […] en el cual el primero (por ejemplo, lo masculino) se valora por encima del último (por ejemplo, lo femenino). Estos dualismos son de particular importancia para los académicos que escriben sobre ciencia porque los valores definidos culturalmente que se asocian con la masculinidad (por ejemplo, la objetividad, la razón, la mente) también son los que están en más estrecha consonancia con la ciencia [Keller, 1985]. Así, lo masculino no sólo se define culturalmente en oposición a lo femenino, sino que lo científico también se define en oposición a lo femenino [Brickhouse, 2001, p. 283].

En un solo párrafo, Brickhouse hace al menos 12 afirmaciones históricas y filosóficas distintas que se han debatido, y rechazado, repetidamente. Estas afirmaciones son ubicuas en los textos didácticos feministas; sólo basta mencionarlas para demostrar que su análisis implica consideraciones de naturaleza histórica y filosófica, puesto que las afirmaciones mismas son acerca de la historia y filosofía de la ciencia. Así pues, los maestros de ciencia y los funcionarios educativos tendrían que estar mínimamente familiarizados con la historia y filosofía de la ciencia para enfrentar y evaluar críticamente estas afirmaciones.

Otra feminista que escribe sobre enseñanza de la ciencia y cita a Sandra Harding y Evelyn Fox Keller dice:

> El feminismo radical es importante desde una perspectiva histórica porque las perspectivas feministas de segunda y tercera generación han estado influidas por ella. El feminismo radical sostiene que, en el caso de la ciencia, las ideologías y las filosofías científicas tienen bases androcéntricas. Esto ha conducido a una forma masculina de ver la ciencia que en la mayoría de los casos también es una ciencia eurocéntrica, una perspectiva predominantemente blanca y anglosajona [Parsons, 1999, p. 991].

Es comprensible que exista una conexión entre el feminismo y el constructivismo; en principio se refuerzan mutuamente. Como confirma Nancy Brickhouse: "las feministas han encontrado que el enfoque constructivista de la educación es compatible con las epistemologías o pedagogías feministas" (Brickhouse, 2001, p. 284). Como abordaremos a profundidad en el capítulo VIII, el constructivismo tiene muchos problemas filosóficos,

pues apenas unos pocos pasos epistemológicos separan una multiplicidad de enfoques de una multiplicidad de conocimientos, de la pluralidad de las ciencias y luego del relativismo absoluto en ciencia. Muchos se saltan escalones, y hay quien incluso da un salto ontológico y afirma que existen tantos mundos como personas:

> Según el constructivismo radical, vivimos encerrados en los mundos que nosotros mismos construimos; no puede describirse el mundo más allá de los marcos de nuestra experiencia. Esta idea es congruente con la de que hay tantos mundos como personas para conocerlos […] Nuestro universo consiste en una plétora de descripciones, más que en un mundo ontológico *per se* [Roth, 1999, p. 7].

Resulta desconcertante que puedan hacerse estas afirmaciones en nombre de la "enseñanza auténtica de la ciencia". ¿Había una plétora de descripciones al inicio del universo? ¿Quién las hacía? En la cosmología cristiana "En el principio estaba el mundo", pero no "en el principio había descripciones". A los japoneses seguramente no los reconforta nada saber que fue una ola de "descripciones" lo que destruyó sus ciudades, hogares y personas en el tsunami de 2011 en Tohoku, y mucho menos que fue una nube de descripciones lo que se desató sobre Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945. Es incomprensible que los pedagogos de la ciencia hablen así; podrían decirse cosas más explícitas, significativas y sensatas. Sin embargo, no todas las feministas son constructivistas, y muchas advierten contra la adopción feminista del constructivismo (Koertge, 2000; Pati y Koertge, 1994).

Diseñar iniciativas pedagógicas o curriculares basadas en estas afirmaciones sin evaluarlas cuidadosamente primero perjudica mucho a todos los alumnos, no sólo a las mujeres. Muchas filósofas de la ciencia han tomado la iniciativa en el análisis crítico de todas estas afirmaciones feministas. No todas las feministas suscriben la epistemología feminista.

Algunas evaluaciones del feminismo en la enseñanza de la ciencia

Muchas mujeres rechazan que les sean extraños la objetividad, la racionalidad y el pensamiento analítico. Norette Koertge, una importante filósofa de la ciencia que también ha escrito sobre enseñanza de la ciencia (Koertge, 1969, 1998), sostiene que la ciencia necesitas más ideas poco ortodoxas y una mayor pluralidad de enfoques. Se trata de una postura popperiana estándar, que no constituye en sí mismo un llamado a una nueva epistemología de la ciencia. Contra ciertas feministas, Koertge advierte que: "Si de verdad pudiera demostrarse que el patriarcado no sólo desempeñó un papel crucial en la revolución científica sino que también resulta indispensable para realizar investigación científica como la entendemos hoy, esto constituiría el argumento a favor del patriarcado más poderoso imaginable" (Koertge, 1981, p. 354). Y continúa: "Sigo creyendo que la

ciencia —hasta la ciencia dominada por hombres blancos de clase alta— es uno de los aliados más importantes de las personas oprimidas" (Koertge, 1981, p. 354).

Cassandra Pinnick, otra filósofa de la ciencia que ha escrito sobre enseñanza de la ciencia (Pinnick, 2008a), hizo eco de esta observación cuando escribió que la historia de la ciencia no proporciona las condiciones para privilegiar, como hace Sandra Harding, la "perspectiva" feminista: "Por el contrario, la historia de la ciencia, evidentemente dominada por hombres exitosos, constituye una excelente introducción al hecho de que el sesgo masculino —sea lo que sea y por no hablar de otras formas identificables de sesgo — debería llevarse a sus máximas consecuencias en ciencia" (Pinnick, 2008b, p. 187).

Puede haber otras razones, no epistemológicas, sociales o políticas, para privilegiar una perspectiva feminista, pero no tienen por qué argumentarse por separado ni confundirse con las condiciones epistemológicas. Sin embargo, estos argumentos también serán debatidos, comenzando con el problema básico de qué punto de vista de las mujeres debe considerarse una perspectiva feminista. La clase, la etnia, la religión y la nacionalidad… todas estas cosas actúan sobre la perspectiva, o incluso los intereses, de una mujer particular. Y los argumentos filosóficos para el conocimiento situado también se han disputado. Como concluye Pinnick:

> Pero la idea de una perspectiva de género de la ciencia es totalmente inadecuada, está rodeada de contradicciones formales y carece por completo de antecedentes empíricos que exhiban el más mínimo respaldo inductivo. A pesar de que los argumentos asociados con ella no se basan en nada más que en promesas infundadas sobre el impacto positivo que las mujeres tendrán sobre la ciencia, el alto perfil que mantiene la teoría feminista del conocimiento nos pone en peligro de llegar a la conclusión de que todos los esfuerzos que se hicieron por promover a las mujeres en ciencia —en la enseñanza y en las carreras— no representó más que el mal uso de unos recursos muy escasos [Pinnick, 2008a, p. 1062].

CONCLUSIÓN

Este capítulo se ha ocupado de discutir algunos aspectos de la conexión íntima que existe entre la ciencia y la filosofía, y ha sugerido que dicha interacción puede presentársele con provecho a los alumnos de las aulas de ciencia y a los maestros en formación. Es parte del aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia, uno de los temas presentes en todos los planes de estudio de ciencia; no se trata nada más de aprender algo de filosofía, aunque esto es importante, sino de abrirse una oportunidad para *hacer* filosofía. La filosofía comienza con preguntas como ¿a qué te refieres con…?, y ¿cómo puedes saberlo? Se puede animar a los alumnos a formular estar preguntas a cada paso de su educación, en cualquier tema que estén estudiando; ellas conducen naturalmente hacia la esfera de la lógica y el análisis de argumentos; hay mucha evidencia de que es necesario entrenar y documentar las ideas ingenuas de los alumnos en estas áreas: el pensamiento lógico no es natural. Las preguntas filosóficas que enumeró Robert Ennis en 1979 —y que tienen que ver con la explicación, la estructura de las disciplinas, los valores, la teoría y la observación, así como el método científico— siempre son de interés para los maestros de ciencia, y puede hacerse que también resulten interesantes para los alumnos. Este capítulo ha señalado diversas áreas de los planes de estudio contemporáneos que tienen una rica dimensión filosófica que puede presentársele fácilmente a los alumnos y que incluye ética y valores, pensamiento lógico y crítico, ciencia y metafísica y experimentos mentales. Este capítulo también ha presentado algunos de los debates en los que suelen enzarzarse los maestros y los diseñadores de planes de estudio, en particular los provocados por las críticas sociológica y feminista de la ciencia. Aquí la filosofía tiene un papel explícito que desempeñar, y los maestros tienen que saberlo y estar preparados.

Más allá de estos temas hay otras áreas muy animadas del debate teórico entre pedagogos de la ciencia a las cuales puede contribuir la filosofía de la ciencia. La discusión sobre el constructivismo, y en particular sus afirmaciones epistemológicas, es un área de interés evidente que se tratará en el capítulo VIII. En el capítulo X, se discutirán argumentos sobre la ciencia y las visiones del mundo, las creencias religiosas y los compromisos científicos, la deliberación sobre qué constituye una enseñanza multicultural de la ciencia adecuada y otras áreas en las que la filosofía puede aportar cosas. Todo esto en conjunto da sustento a la tesis central de este libro: que la enseñanza de la ciencia y la historia y filosofía de la ciencia tienen que desarrollar una relación más íntima.

Aalberts, J., E. Koster y R. Boschuizen (2012), "From prejudice to reasonable judgement: Integrating (moral) value discusiones in university courses", *Journal of Moral Education,* vol. 41, núm. 4, pp. 437-455.

Adler, M. J. (1978), *Aristotle for Everybody,* Nueva York, Macmillan.

Adúriz-Bravo, A. (2014), "Revisiting school scientific argumentation from the perspective of the history and philosophy of science", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science,* Dordrecht, Springer, pp. 1443-1472.

Agassi, J. (1964), "The nature of scientific problems and their roots in metaphysics", en M. Bunge (coord.), *The Critical Approach,* Glencoe, Free Press. Reimpreso en J. Agassi, *Science in Flux,* Boston, Reidel, 1975, pp. 208-239.

Amsterdamski, S. (1975), *Between Experience and Metaphysics: Philosophical Problems in the Evolution of Science,* Dordrecht, Reidel Publishing Company.

Arons, A. B. (1974), "Educations through science", *Journal of College Science Teaching,* vol. 13, pp. 210-220.

———— (1977), *The Various Language, An Inquiry Approach to the Physical Sciences,* Nueva York, Oxford University Press.

———— (1990), *A Guide to Introductory Physics Teaching,* Nueva York, John Wiley.

Arriassecq, I., I. Greca y S. Eugenia (2014), "Epistemological isues concerning computer simulations in science and their implications for science education", *Science & Education,* vol. 23, pp. 897-921.

Asikainen, M. A., y P. E. Hirvonen (2014), "Thought experiments in science and in science education", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1235-1256.

Bacon, F. (1620/1960), *Novum organum and Related Writing,* Nueva York, F. H. Anderson. [Hay edición en español: *La gran restauración* (Novum organum), Madrid, Tecnos, 2011.]

Barnes, B. (1977), *Interests and the Growth of Knowledge,* Londres, Routledge & Kegan Paul.

Bell, B. F. (coord.) (1992), *I Know About LISP but How do I Put Into Practice? Draft Report,* Hamilton, Centre for Science and Mathematics Education Research, University of Waikato.

Bergmann, P. (1949), *Basic Theories of Physics,* Nueva York, Prentice-Hall.

Berkeley, G. (1721/1965), *De Motu,* en D. Armstrong (coord.), *Berkeley's Philosophical Writings,* Nueva York, Macmillan, pp. 251-273.

Bernal, J. D. (1939), *The Social Function of Science,* Londres, Routledge & Kegan Paul.

Birch, L. C. (1990), *On Purpose,* Sidney, University of New South Wales Press.

Birstein, V. J. (2001), *The Perversion of Knowlege: The True Story of Soviet Science,* Cambridge, Westview Press.

Blake, D. (1994), "Revolution, revision, or reversal: Genetics-ethics curriculum", *Science & Education,* vol. 3, núm. 4, pp. 373-391.

Bleier, R. (1984), *Science and Gender,* Nueva York, Pergamon Press.

Bloor, D. (1976/1991), *Knowledge and Social Imagery,* Londres, Routledge y Paul Kegan (2ª ed., 1991). [Hay edición en español: *Conocimiento e imaginario social,* Barcelona, Gedisa, 2009.]

Blown, F. J., y T. G. K. Bryce (2013), "Thought-experiments about gravity in the history of science and in research into children's thinking", *Science & Education,* vol. 22, núm. 3, pp. 419-481.

Bohm, D. (1980), *Wholeness and the Implicate Order,* Londres, Ark Paperbacks.

Bohr, N. (1958), *Atomic Physics and Human Knowledge,* Nueva York, Wiley.

Bokulich, A. (2001), "Rethinking thought experiments", *Perspectives on Science,* vol. 9, núm. 3, pp. 285-307.

Boltzmann, L. (1905/1974), *Theoretical Physics and Philosophical Problems,* Dordrecht, Reidel.

Booth, E. H., y P. M. Nicol (1931/1962), *Physics: Fundamental Laws and Principles with Problems and Worked Examples,* Sidney, Australasian Medical Publishing Company (16ª ed., 1962).

Born, M. (1968), *My Life & My Views,* Nueva York, Scribner.

Böttcher, F., y A. Meisert (2011), "Argumentation in science education: A model-based framework", *Science & Education,* vol. 20, núm. 2, pp. 103-140.

Boulos, P. J. (2006), "Newton's path to universal gravitation: The role of the pendulum", *Science & Education,* vol. 15, núm. 6, pp. 577-595.

Brackenridge, J. B. (1989), "Education in science, history of science and the 'textbook'", *Interchange,* vol. 20, núm. 2, pp. 71-80.

Bricker, L. A., y P. Bell (2008), "Conceptualizations of argumentation from science studies and the learning sciences and their implications for the practice of science education", *Science Education,* vol. 92, núm. 3, pp. 473-498.

Brickhouse, N. W. (2001), "Embodying science: A feminist perspective on learning", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 38, núm. 3, pp. 282-295.

Bridgman, P. W. (1950), *Reflections of a Physicist,* Nueva York, Philosophical Library.

Brown, J. R. (coord.) (1984), *Scientific Rationality: The Sociological Turn,*

Dordrecht, Reidel.
———— (1991/2010), *The Laboratory of the Mind: Thought Experiments in the Natural Sciences,* 2ª ed., Nueva York, Routledge.
———— (1994), *Smoke and Mirrors: How Science Reflects Reality,* Nueva York, Routledge.
Brown, J. R., e Y. Fehige (2011), “Thought experiments”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy,* disponible en <http://plato.stanford.edu/entries/thought-experiment>.
BSCS (Biological Science Curriculum Committee) (1992), *Mapping and Sequencing the Human Genome: Science, Ethics and Public Policy,* Colorado Springs, BSCS.
Buchdahl, G. (1969), *Metaphysics and the Philosophy of Science,* Oxford, Basil Blackwell.
Buckley, M. J. (1971), *Motion and Motion's God,* Princeton, Princeton University Press.
Bunge, M. (1963), *The Myth of Simplicity,* Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
———— (1967), “Analogy in quantum mechanics: From insight to nonsense”, *The British Journal for Philosophy of Science,* vol. 18, pp. 265-286.
———— (1973), *The Philosophy of Physics,* Dordrecht, Reidel. [Hay edición en español: *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.]
———— (1991), “A critical examination of the new sociology of science. Part 1”, *Philosophy of the Social Sciences,* vol. 21, núm. 4, pp. 524-560.
———— (1992), “A critical examination of the new sociology of science. Part 2”, *Philosophy of the Social Sciences,* vol. 22, núm. 1, pp. 46-76.
———— (1998a), *Philosophy of Science,* vol. 1, New Brunswick, Transaction Publishers.
———— (1998b), *Philosophy of Science,* vol. 2, New Brunswick, Transaction Publishers.
———— (2012), “Does quantum physics refute realism, materialism and determinism?”, *Science & Education,* vol. 21, núm. 10, pp. 1601-1610.
Burtt, E. A. (1932), *The Metaphysical Foundations of Modern physical science,* 2ª ed., Londres, Routledge & Kegan Paul (1ª ed., 1924). [Hay edición en español: *Los fundamentos metafísicos de la ciencia moderna,* Buenos Aires, Sudamericana, 1960.]
Cachel, S. (1990), “Partisan primatology. Review of *Primate Visions: Gender, Race, and Nature in the World of Modern Science*”, *American Journal of Primatology,* vol. 22, núm. 2, pp. 139-142.
Campbell, N. R. (1921/1952), *What is Science?,* Nueva York, Dover.
Carey, S., R. Evans, M. Honda, E. Jay y C. Unger (1989), “An experiment is when

you try it and see if it works”, *International Journal of Science Education,* vol. 11, pp. 514-529.
Carrier, M., D. Howard y J. Kourany (coords.) (2008), *The Challenge of the Social and the Pressure of Practice, Science and Values Revisited,* Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
Carrier, M. (2013), “Values and objectivity in science: Value-ladennes, pluralism and the epistemic attitude”, *Science & Education,* vol. 22, núm. 10, pp. 2457-2568.
Chandrasekhar, S. (1987), *Truth and Beauty: Aesthetics and Motivations in Science,* Chicago, University of Chicago Press.
Clagett, M. (1959), *The Science of Mechanics in the Middle Ages,* Madison, University of Wisconsin Press.
Clavelin, M. (1974), *The Natural Philosophy of Galileo. Essay on the Origins and Formation of Classical Mechanics,* Cambridge, MIT Press.
Cochaud, G. (1989), “The process skills of science”, artículo inédito, conferencia anual de la Australian Science Teachers Association.
Coelho, R. L. (2007), “The law of inertia: How Understanding Its History Can Improve Physics Teaching”, *Science & Education,* vol. 16, núms. 9-10, pp. 955-974.
Cohen, I. B. (1980), *The Newtonian Revolution,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *La revolución newtoniana y las transformaciones de las ideas científicas,* Madrid, Alianza, 1983.]
Cohen, M. (2005), *Wittgenstein's Beetle and Other Classic Thought Experiments,* Londres, Blackwell. [Hay edición en español: *El escarabajo de Wittgenstein y 25 experimentos mentales más,* Madrid, Alianza, 2010.]
Collingwood, R. G. (1945), *The Idea of Nature,* Oxford, Oxford University Press. [Hay edición en español: *Idea de la naturaleza,* México, Fondo de Cultura Económica, 2006.]
Collins, F. S. (2007), *The Language of God: A Scientist Presents Evidence for Belief,* Nueva York, Free Press. [Hay edición en español: *El lenguaje de Dios: Un científico presenta evidencias para creer,* Madrid, Temas de Hoy, 2007.]
Cordero, A. (1992), “Science, objectivity and moral values”, *Science & Education,* vol. 1, núm. 1, pp. 49-70.
Cornwell, J. (2003), *Hitler's Scientists: Science, War and the Devil's Pact,* Londres, Penguin. [Hay edición en español: *Los científicos de Hitler: Ciencia, guerra y el pacto con el diablo,* Barcelona, Paidós, 2005.]
Couló, A. C. (2014), “Philosophical dimensions of social and ethical issues in school science education: Values in science and in science classrooms”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy*

and Science Teaching, Dordrecht, Springer, pp. 1087-1117.
Crombie, A. C. (1956), *Medieval and Early Modern Science. Vol. 11, Science in the Later Middle Ages and Early Modern Times:* xii-xvii *Centuries,* Cambridge, Harvard University Press.
Cross, R. T., y R. F. Prince (1992), *Teaching Science for Social Responsibility,* Sidney, St. Louis Press.
Cushing, J. T. (1998), *Philosophical Concepts in Physics: The Historical Relation Between Philosophy and Scientific Theories,* Cambridge, Cambridge University Press.
Cushing, J. T., y E. McMullin (coords.) (1989), *Philosophical Consequences of Quantum Theory,* Notre Dame, University of Notre Dame Press.
D'Espagnat, B. (2006), *On Physics and Philosophy,* Princeton, Princeton University Press.
Davidson-Galle, P. (2002), "Science, values and objectivity", *Science & Education,* vol. 11, núm. 2, pp. 191-220.
De Jong, T., M. C. Linn y Z. C. Zacharia (2013), "Physical and virtual laboratories in science and engineering education", *Science,* vol. 340, núm. 6130, pp. 305-308.
Develaki, M. (2008), "Social and ethical dimension of the natural sciences, complex problems of the age, interdisciplinarity, and the contribution of education", *Science & Education,* vol. 17, núms. 8-9, pp. 873-888.
Devitt, M. (1991), *Realism and the Truth,* 2ª ed., Oxford, Basil Blackwell.
Dilworth, C. (1996/2006), *The Metaphysics of Science. An Account of Modern Science in Terms of Principles, Laws and Theories,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers (2ª ed., 2006).
Doppelt, G. (2008), "Values in science", en S. Psillos y M. Curd (coords.), *The Routledge Companion to Philosophy of Science,* Nueva York, Routledge, pp. 302-313.
Douglas, H. E. (2009), *Science, Policy, and the Value-Free Ideal,* Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
Duhem, P. (1906/1954), *The Aim and Structure of Physical Theory,* trad. de P. P. Wiener, Princeton, Princeton University Press. [Hay edición en español: *La teoría física. Su objeto y su estructura,* Madrid, Herder, 2009.]
———— (1908/1969), *To Save the Phenomena: An Essay on the Idea of Phyisical Theory from Plato to Galileo,* Chicago, University of Chicago Press.
Dupré, J., H. Kincaid y A. Wylie (coords.) (2007), *Value-Free Science? Ideals and Illusions,* Nueva York, Oxford University Press.
Eddington, A. (1928/1978), *The Nature of the Physical World,* Ann Arbor, University of Michigan Press. [Hay edición en español: *La naturaleza del mundo físico,*

Buenos Aires, Sudamericana, 1945.]
———— (1939), *The Philosophy of Physical Science,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *La filosofía de la ciencia física,* Buenos Aires, Sudamericana, 1944.]
Eger, M. (1988), "A tale of two controversies: Dissonance in the theory and practice of rationality", *Zygon,* vol. 23, núm. 3, pp. 291-326. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto, OISE Press, 1991.
———— (1989), "The 'interests' of science and the problems of education", *Synthese,* vol. 80, núm. 1, pp. 81-106.
Einstein, A. (1916/1961), *Relativity: The Special and General Theory,* Nueva York, Crown Publishers. [Hay edición en español: *Sobre la teoría de la relatividad especial y general,* Madrid, Alianza, 2008.]
Ellis, B. D. (1965), "The origin and nature of Newton's laws of motion", en R. G. Colodny (coord.), *Beyond the Edge of Certainty,* Englewood Cliffs, Prentice Hall, pp. 29-68.
———— (1976), "The existence of forces", *Studies in History and Philosophy of Science,* vol. 7, núm. 2, pp. 171-185.
Ennis, R. H. (1979), "Research in philosophy of science bearing on science education", en P. D. Asquith y H. E. Kyburg (coords.), *Current Research in Philosophy of Science,* East Lansing, PSA, pp. 138-170.
Epstein, L. C. (1979), *Thinking Physics,* 2ª ed., San Francisco, Insight Press.
Erduran, S., y M. P. Jiménez-Aleixandre (coords.) (2008), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research,* Dordrecht, Springer.
Feyerabend, P. K. (1975), *Against Method,* Londres, New Left Books. [Hay edición en español: *Contra el método,* Madrid, Tecnos, 2003.]
Frank, P. (coord.) (1954), *The Validation of Scientific Theories,* Boston, The Beacon Press.
Friedman, M. (2009), "Newton and Kant on absolute space: From theology to trascendental philosophy", en M. Bitbol, P. Kersberg y J. Petitot (coords.), *Constituting Objectivity: Transcendental Perspectives on Modern Physics,* Dordrecht, Springer, pp. 35-50.
Galilei, Galileo (1638/1954), *Dialogues Concerning Two New Sciences,* trad. de H. Crew y A. de Salvio, Nueva York, Dover, publicado originalmente en 1914. [Hay edición en español: *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias,* Buenos Aires, Losada, 2004.]
Galili, I. (2009), "Thought experiments: Determining their meaning", *Science & Education,* vol. 18, núm. 1, pp. 1-23.

Garnett, J. P., y K. G. Tobin (1984), "Reasoning patterns of preservice elementary and middle school science teachers", *Science Education,* vol. 68, pp. 621-631.
Gaukroger, S. (2001), *Francis Bacon and the Transformations of Early-Modern Philosophy,* Cambridge, Cambridge University Press.
Geary, D. C. (1995), "Reflections of evolution and culture in children's cognition: Implication for mathematical development and instruction", *American Psychologist,* vol. 50, núm. 1, pp. 24-37.
Gendler, T. S. (2000), *Thought Experiment: On the Powers and Limits of Imaginary Cases,* Londres, Garland Press.
———— (2004), "Thought experiments rethought – and reperceived", *Philosophy of Science,* vol. 71, pp. 1152-1163.
Gillies, D. (1998), "The Duhem thesis and the Quine thesis", en M. Curd y J. Cover (coords.), *Philosophy of Science: The Central Issues,* Nueva York, Norton, pp. 302-319.
Gilligan, C. (1982), *In a Different Voice: Psychological Theory and Women's Development,* Harvard, Harvard University Press.
Gjertsen, D. (1989), *Science and Philosophy: Past and Present,* Harmondsworth, Penguin.
Graham, D. W. (1996), "The metaphysics of motion: Natural motion in Physics II and Pysics VIII", en W. Wians (coord.), *Aristotle's Philosophical Development: Problems and Prospects,* Lanham, Rowan & Littlefield.
Graham, L. R. (1973), *Science and Philosophy in the Soviet Union,* Nueva York, Alfred A. Knopf. [Hay edición en español: *Ciencia y filosofía en la Unión Soviética,* Madrid, Siglo Veintiuno Editores, 1976.]
———— (1998), *What Have We Learned about Science and Technology from the Russian Experience?,* Stanford, Stanford University Press.
Greenberg, D. S. (2001), *Science, Money, and Politics,* Chicago, University of Chicago Press.
Gutting, G. (1989), *Michel Foucault's Archeology of Scientific Reason,* Cambridge, Cambridge University Press.
Haldane, J. S. (1928), *The Sciences and Philosophy,* Londres, Hodder & Stoughton.
Hanson, N. R. (1965), "Newton's first law: A philosopher's door into natural philosophy", en R. G. Colodny (coord.), *Beyond the Edge of Certainty,* Englewood-Cliffs, Prentice Hall, pp. 6-28.
Haraway, D. (1989), *Primate Visions: Gender, Race and Nature in the World of Modern Science,* Nueva York, Routledge.
Harding, J. (coord.) (1986), *Perspectives on Gender and Science,* East Sussex, Palmer Press.

Harding, S. G. (1976), *Can Theories Be Refuted? Essays on the Duhem-Quine Thesis,* Dordrecht, Reidel.

———— (1986), *The Science Question in Feminism,* Itchaca, Cornell University Press.

———— (1991), *Whose Science? Whose Knowledge? Thinking from Women's Lives,* Ithaca, Cornell University Press.

Harding, S. G., y M. B. Hintikka (coords.) (1983), *Discovering Reality: Feminist Perspectives on Epistemology, Metaphysics, Methodology, and Philosophy of Science,* Dordrecht, Reidel.

Hartsock, N. (1983), "The feminist standpoint: Developing the grounds for a specifically feminist historical materialism", en S. Harding y M. B. Hintikka (coords.), *Discovering Reality,* Dordrecht, Reidel.

Heisenberg, W. (1962), *Physics and Philosophy,* Nueva York, Harper & Row. [Hay edición en español: *Física y filosofía,* Buenos Aires, La Isla, 1959.]

Helm, H., y J. Gilbert (1985), "Thought experiments and physics education – Part I", *Physics Education,* vol. 20, pp. 124-131.

Helm, H., J. Gilbert y D. M. Watts (1985), "Thought experiments and physics education – Part II", *Physics Education,* vol. 20, pp. 211-217.

Helmholtz, H. von (1995), *Science and Culture: Popular and Philosophical Essays,* edición e introducción de David Cahan; ensayos originales 1853-1892, Chicago, Chicago University Press.

Hesse, M. B. (1961), *Forces and Fields: The Concept of Action at a Distance in the History of Physics,* Londres, Thomas Nelson & Sons.

Hiebert, E. N. (1974), "Mach's conception of thought experiments in the natural sciences", en Y. Elkana (coord.), *The Interaction between Science and Philosophy,* Atlantic Highlands, Humanities Press, pp. 339-348.

Hodson, D. (1988), "Experiments in science and science teaching", *Educational Philosophy and Theory,* vol. 20, núm. 2, pp. 53-66.

———— (1993), "Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in science", *Studies in Science Education,* vol. 22, pp. 85-142.

———— (1996), "Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion", *Journal of Curriculum Studies,* vol. 28, pp. 115-135.

Holton, G. (1973), *Thematic Origins of Scientific Thought,* Cambridge, Harvard University Press.

———— (1988), *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein,* 2ª ed., Cambridge, Harvard University Press.

Holton, G., y S. G. Brush (2001), *Physics, the Human Adventure. From Copernicus to Einstein and Beyond,* New Brunswick, Rutger University Press.

Holton, G., F. J. Rutherford y F. G. Watson (1974), *The Project Physics Course: Motion,* Sidney, Horwitz Group.
Hooker, C. A. (2011), *Philosophy of Complex Systems,* Ámsterdam, Elsevier.
Horowitz, G., y G. Massey (coords.) (1991), *Thought Experiments in Science and Philosophy,* Lanham, Rowman & Littlefield.
Hubbard, R. (1979), "Have only men evolved?", en R. Hubbard, M. S. Henifin y B. Fried (coords.), *Women Look at Biology Looking at Women,* Cambridge, Schenkman Press, pp. 7-35.
Hull, D. L. (1988), *Science as a Process: An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science,* Chicago, University of Chicago Press.
Hunt, I. E., y W. A. Suchting (1969), "Force and 'natural motion'", *Philosophy of Science,* vol. 36, pp. 233-251.
Huxley, A. (1947), *Science, Liberty and Peace,* Londres, Chatto & Windus. [Hay edición en español: *Ciencia, libertad y paz,* Buenos Aires, Sudamericana, 1963.]
Hyland, P., O. Gómez y F. Greensides (coords.) (2003), *The Enlightenment: A Source Book and Reader,* Nueva York, Routledge.
Izquierdo-Aymerich, M., y A. Adúriz-Bravo (2003), "Epistemological foundations of school science", *Science and Education,* vol. 12, núm. 1, pp. 27-43.
Jammer, M. (1957), *Concepts of Force: A Study in the Foundations of Dynamics,* Cambridge, Harvard University Press.
Jeans, J. (1943/1981), *Physics and Philosophy,* Nueva York, Dover. [Hay edición en español: *Física y filosofía,* Buenos Aires, Librería del Colegio, 1948.]
Jeffreys, D. (2008), *Hell's Cartel: IG Farben and the Making of Hitler's War Machine,* Londres, Bloomsbury.
Jenkins, E. W. (1999), "Practical work in school science: Some questions to be answered", en J. Leach y A. C. Paulsen (coords.), *Practical Work in Science Education: Recent Research Studies,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 19-32.
Jiménez-Aleixandre, M. P., y S. Erduran (2008), "Argumentation in science education: An overview", en S. Erudran y M. P. Jiménez Aleixandre (coords.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research,* Dordrecht, Springer.
Joravsky, D. (1970), *The Lysenko Affair,* Chicago, University of Chicago Press.
Jungwirth, E. (1987), "Avoidance of logical fallacies: A neglected aspect of science-education and science-teacher education", *Research in Science & Technological Education,* vol. 5, núm. 1, pp. 43-58.
Kalman, C. S. (2009), "A role for experiment in using the law of inertia to explain the nature of science: A comment on Lopes Coelho", *Science & Education,* vol. 18,

núm. 1, pp. 25-31.

Keller, E. F. (1985), *Reflections on Gender and Science,* New Haven, Yale University Press. [Hay edición en español: *Reflexiones sobre género y ciencia,* Valencia, Alfons El Magnánim, 1991.]

Keller, E. F. (1987), "Feminism and science", en S. G. Harding y J. F. O'Barr (coords.), *Sex and Scientific Inquiry,* Chicago, University of Chicago Press.

Keohane, N. O., M. Z. Roasaldo y B. C. Gelpi (coords.) (1982), *Feminist Theory: A Critique of Ideology,* Chicago, University of Chicago Press.

Khine, M. S. (coord.) (2012), *Perspectives on Scientific Argumentation: Theory, Practice and Research,* Dordrecht, Springer.

Kitcher, P. (2001), *Science, Truth, and Democracy,* Oxford, Oxford University Press.

Koertge, N. (1969), "Towards an integration of content and method in the science curriculum", *Curriculum Theory Network,* vol. 4, pp. 26-43. Reimpreso en *Science & Education,* 1996, vol. 5, núm. 4, pp. 391-402.

———— (1981), "Methodology, ideology and feminist critiques of science", en P. D. Asquith y R. N. Giere (coords.), *Proceedings of the Philosophy of Science Association 1980,* Ann Arbor, Edwards Bros, pp. 346-359.

———— (1988), "Postmodernisms and the problem of scientific literacy", en *A House Built on Sand: What's Wrong with the Cultural Studies Account of Science,* Nueva York, Oxford University Press, pp. 257-271.

———— (2000), "'New age' philosophies of science, constructivism, feminism and postmodernism", *British Journal for the Philosophy of Science,* vol. 51, pp. 667-683.

Kosso, P. (1992), *Reading the Book of Nature: An Introduction to the Philosophy of Science,* Nueva York, Cambridge University Press.

Koyré, A. (1953/1968), "An experiment in measurement", *Proceedings of the American Philosophical Society,* vol. 7, pp. 222-237. Reproducido en *Metaphysics and Measurement,* Cambridge, Havard University Press, 1968, pp. 89-117.

———— (1954), "Influence of philosophic trends on the formulation of scientific theories", en P. G. Frank (coord.), *The Validation of Scientific Theories,* Boston, The Beacon Press, pp. 192-203.

———— (1957), *From the Closed World to the Infinite Universe,* Baltimore, The Johns Hopkins University Press. [Hay edición en español: *Del mundo cerrado al universo infinito,* Madrid, Siglo Veintiuno de España, 1979.]

———— (1960), "Galileo's treatise *'De motu Gravium':* The use and abuse of imaginary experiment", *Revue d'Histoire des Sciences,* vol. 13, pp. 197-245. Reimpreso en *Metaphysics and Measurements,* 1968, Cambridge, Harvard

University Press.
———— (1968), *Metaphysics and Measurements,* Cambridge, Harvard University Press.
Kuhn, D. (2010), “Teaching and learning science as argument”, *Science Education,* vol. 94, núm. 5, pp. 810-824.
Kuhn, T. S., (1962/1970), *The Structure of Scientific Revolutions,* 2ª ed., Chicago, University of Chicago Press (1ª ed. 1962). [Hay edición en español: *La estructura de las revoluciones científicas,* México, Fondo de Cultura Económica, 2013.]
———— (1964), “A function for thought experiments”, en *The Essential Tension,* Chicago, University of Chicago Press, 1977, pp. 28-43. [Hay edición en español: *La tensión esencial: Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia,* México, Fondo de Cultura Económica, 1982.]
———— (1977), “Objectivity, value judgement, and theory choice”, en *The Essential Tension,* Chicago, University of Chicago Press, 1977, pp. 320-339. [Hay edición en español: *La tensión esencial: Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia,* México, Fondo de Cultura Económica, 1982.]
———— (1991/2000), “The trouble with historical philosophy of science”, The Robert and Maurine Rothschild Lecture, Department of History of Science, Harvard University, en J. Conant y J. Haugeland (coords.), *The Road Since Structure: Thomas S. Kuhn,* Chicago, University of Chicago Press. [Hay edición en español: *El camino desde la estructura,* Barcelona, Paidós, 2002.]
Lacey, H. (2005), *Values and Objectivity in Science,* Lantham, Lexington Books.
Latour, B., y S. Woolgar (1979/1986), *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts,* 2ª ed., Londres, SAGE. [Hay edición en español: *La vida en el laboratorio: La construcción de los hechos científicos,* Madrid, Alianza, 1995.]
Lecourt, D. (1977), *Proletarian Science? The Case of Lysenko,* Manchester, Manchester University Press. [Hay edición en español: *Lysenko. Historia real de una “ciencia proletaria”,* Barcelona, Laia, 1978.]
Lederman, N. G. (2004), “Syntax of nature of science within inquiry and science instruction”, en L. B. Flick y N. G. Lederman (coords.), *Scientific Inquiry and Nature of Science,* Dordrecht, Kluwer Academica Publishers, pp. 301-317.
Lederman, N. G., F. Abd-el-Khalick, R. L. Bell y R. S. Schwartz (2002), “Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learner’s conceptions of the nature of science”, *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 39, pp. 497-521.
Levi, I. (1960), “Must the scientists make value judgments?”, *The Journal of Philosophy,* vol. LVII, pp. 345-357.

Lewontin, R., y R. Levins (1976), "The problem of lysenkoism", en H. Rose y S. Rose (coords.), *The Radicalisation of Science,* Londres, Macmillan, pp. 32-64. [Hay edición en español: *La radicalización de la ciencia,* México, Nueva Imagen, 1980.]

Lipman, M. (1991), *Thinking in Education,* Cambride, Cambridge University Press.

Lipman, M., y A. M. Sharp (coords.) (1978), *Growing Up with Philosophy,* Filadelfia, Temple University Press.

Longino, H. E. (1989), "Can there be a feminist science?", en N. Tuana (coord.), *Feminism & Science,* Bloomington, Indiana University Press, pp. 45-57.

Longino, H. E. (1990), *Science as a Social Knowledge: Values and Objectivity in Scientific Inquiry,* Princeton, Princeton University Press.

———— (2008), "Values, heuristics, and the politics of knowledge", en M. Carrier, D. Howard y J. Kourany (coords.), *The Challenge of the Social and the Pressure of Practice. Science and Values Revisited,* Pittsburgh, University of Pittsburg Press, pp. 68-86.

Lowe, M., y R. Hubbard (coords.) (1983), *Women's Nature: Rationalization of Inequality,* Nueva York, Pergamon Press.

Mach, E. (1883/1960), *The Science of Mechanics,* LaSalle, Open Court Publishers.

———— (1886/1986), "On instruction in the classics and the sciences", en *Popular Scientific Lectures,* LaSalle, Open Court Publishing, pp. 338-374.

———— (1893/1974), *The Science of Mechanics,* 6a. ed., LaSalle, Open Court Publishers.

———— (1896/1976), "On thought experiments", en *Knowledge and Error,* Dordrecht, Reidel, pp. 134-147.

———— (1905/1976), *Knowledge and Error,* Dordrecht, Reidel. [Hay edición en español: *Conocimiento y error,* Buenos Aires, Espasa Calpe, 1948.]

Machamer, P., y H. Douglas (1999), "Cognitive and social values", *Science & Education,* vol. 8, núm. 1, pp. 45-54.

Mannheim, K. (1936/1960), *Ideology and Utopia,* Londres, Routledge & Kegan Paul. [Hay edición en español: *Ideología y utopía: Introducción a la sociología del conocimiento,* Madrid, Fondo de Cultura Económica de España, 2004.]

Margenau, H. (1950), *The Nature of Physical Reality: A Philosophy of Modern Physics,* Nueva York, McGraw-Hill. [Hay edición en español: *La naturaleza de la realidad física. Una filosofía de la física moderna,* Madrid, Tecnos, 1970.]

———— (1978), *Physics and Philosophy: Selected Essays,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Martin, J. R. (1989), "Ideological critiques and the philosophy of science", *Philosophy of Science,* vol. 56, pp. 1-22.

Martin, M. (1986/1991), “Science education and moral education”, *Journal of Moral Education,* vol. 15, núm. 2, pp. 99-108. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto, OISE Press, 1991, pp. 102-114.

Marx, K. (1852/1969), *The Eighteenth Brumaire of Louis Bonaparte,* en *Karl Marx and Frederick Engels: Selected Works,* vol. 1, Moscú, Progreso, pp. 398-487. [Hay edición en español: *Obras escogidas,* Moscú, Progreso, 1980.]

Matthews, G. B. (1982), *Philosophy and the Young Child,* Cambridge, Harvard University Press.

Matthews, M. R. (1980), *The Marxist Theory of Schooling: A Study in Epistemology and Education,* Brighton, Harverster Press.

———— (1989), “Ernst Mach and thought experiments in science education”, *Research in Science Education,* vol. 18, pp. 251-258.

———— (1991), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Reading,* Toronto, OISE Press.

Matthews, M. R. (1997), “Israel Scheffler on the role of history and philosophy of science in science teacher education”, *Studies in Philosophy and Education,* vol. 16, núm. 1-2, pp. 159-173.

———— (2000), *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy,* Nueva York, Kluwer Academic Publishers.

Mayr, E. (1982), *The Growth of Biological Thought,* Cambridge, Harvard University Press.

———— (1988), *Toward a New Philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist,* Cambridge, Harvard University Press.

McDermott, L. C., y Physics Education Group (1995), *Physics by inquiry,* 3 vols., Nueva York, John Wiley.

McMullin, E. (1983), “Values in science”, en P. D. Asquith y T. Nicles (coords.), *PSA 1982,* vol. 2, East Lansing, PSA, pp. 3-28.

Meli, D. B. (2006), *Thinking with Objects: The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century,* Baltimore, Johns Hopkins University Press.

Merton, R. K. (1942/1973), “The normative structure of science”, en *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations,* editado por N. W. Storer, Chicago, University of Chicago Press, 1973, pp. 267-280. [Hay edición en español: *La sociología de la ciencia: Investigaciones teóricas y empíricas,* Madrid, Alianza, 1985.]

———— (1957), “The sociology of knowledge”, en *Social Theory and Social Structure,* Nueva York, Free Press.

Monod, J. (1971), *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology,* Nueva York, Knopf. [Hay edición en español: *El azar y la necesidad,* Barcelona, Tusquets, 1981.]

Moody, E. A. (1975), *Studies in Medieval Philosophy, Science and Logic,* Berkeley, University of California Press.

Moore Jr., B. (1954), "Influence of political creeds on the acceptance of theories", en P. G. Frank (coord.), *The Validation of Scientific Theories,* Boston, The Beacon Press, pp. 29-36.

Mulkay, M. (1982), "Sociology of science in the West", *Current Sociology,* vol. 28, núm. 3, pp. 1-116.

Musgrave, A. (1999), *Essays on Realism and Rationalism,* Ámsterdam, Rodopi.

Musschenga, B., y D. Gosling (coords.) (1985), *Science, Education and Ethical Values,* Washington, D. C., Georgetown University Press.

Nersessian, N. J. (1993), "In the theoretician's laboratory: Thought experimenting as mental modelling", *Philosophy of Science Association Proceedings,* vol. 2, pp. 291-301.

Newton, I. (1729/1934), *Mathematical Principles of Natural Philosophy,* trad. de A. Motte, revisado por F. Cajori, Berkeley, University of California Press. [Hay edición en español: *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo,* ed. de Antonio Escohotado, Madrid, Editora Nacional, 1982.]

——— (1730/1979), *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light,* Nueva York, Dover. [Hay edición en español: *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz,* Madrid, Alfaguara, 1977.]

Newton-Smith, W. H. (1981), *The Rationality of Science,* Londres, Routledge & Kegan Paul. [Hay edición en español: *La racionalidad de la ciencia,* Barcelona, Paidós, 1987.]

Nielsen, J. A. (2013), "Dialectical features of student's argumentation: A critical review of argumentation studies in science education", *Research in Science Education,* vol. 43, núm. 1, pp. 371-393.

Nielsen, K. H. (2012), "Scientific communication and the nature of science", *Science & Education,* vol. 22, núm. 9, pp. 2067-2086.

NIH (National Institute of Health) (2009), *Bioethics Yrs 9-12 Course,* Washington, D. C., NIH.

Noble, D. F. (1979), *America by Design: Science, Technology, and the Rise of Corporate Capitalism,* Nueva York, Alfred A. Knopf.

Noddings, N. (2009), "Feminist philosophy and education", en H. Siegel (coord.), *The Oxford Handbook of Philosophy of Education,* Oxford, Oxford University Press,

pp. 508-523.
Nola, R. (1991), “Ordinary human inference as refutation of the strong programme”, *Social Studies of Science,* vol. 21, pp. 107-129.
——— (2000), “Saving Kuhn from the sociologists of science”, *Science & Education,* vol. 9, núms. 1-2, pp. 77-90.
Nola, R., y G. Irzik (2005), *Philosophy, Science, Education and Culture,* Dordrecht, Springer.
Norton, J. D. (1991), “Thought experiments in Einstein’s work”, en T. Horowitz y G. Massey (coords.), *Thought Experiments in Science and Philosophy,* Lanham, Rowman & Littlefield, pp. 129-148.
——— (2004), “On thought experiments: Is there more to the argument?”, *Philosophy of Science,* vol. 71, pp. 1139-1151.
Okruhlik, K. (1994), “Gender and the biological sciences”, *Canadian Journal of Philosophy,* vol. 20, pp. 21-42.
Özdemir, Ö. F., y S. D. Kösem (2014), “The nature and role of thought experiments in solving conceptual physics problems”, *Science & Education,* vol. 23, núm. 4, pp. 865-895.
Palmieri, P. (2011), *A History of Galileo’s Inclined Plane Experiment and Its Philosophical Implications,* Lewinston, The Edwin Mellen Press.
Parker, W. S. (2008), “Does matter really matter? Computer simulations, experiments, and materiality”, *Synthese,* vol. 169, núm. 3, pp. 483-496.
Parsons, S. (1999), “Feminisms and science education: One science educator’s exploration of her practice”, *International Journal of Science Education,* vol. 21, núm. 9, pp. 989-1005.
Pati, D., y N. Koertge (1994), *Professing Feminism: Cautionary Tales from the Strange World of Women’s Studies,* Nueva York, Basic Books.
Petersen, A. (1985), “The philosophy of Neils Bohr”, en A. P. French y P. J. Kennedy (coords.), *Niels Bohr: A Centenary Volume,* Cambridge, Harvard University Press.
Pinnick, C. L. (2008a), “Science education for women: Situated cognition, feminist standpoint theory, and the status of women in science”, *Science & Education,* vol. 17, núm. 10, pp. 1055-1063.
——— (2008b), “The feminist approach to philosophy of science”, en S. Psillos y M. Curd (coords.), *The Routledge Companion to Philosophy of Science,* Londres, Routledge, pp. 182-192.
Planck, M. (1936), *The Philosophy of Physics,* Nueva York, W. W. Norton.
Poincaré, H. (1905/1952), *Science and Hypothesis,* Nueva York, Dover. [Hay edición en español: *Ciencia e hipótesis,* Madrid, Espasa, 2005.]

Polanyi, M. (1958), *Personal Knowledge,* Londres, Routledge & Kegan Paul.
Popper, K. R. (1934/1959), *The Logic of Scientific Discovery,* Londres, Hutchinson. [Hay edición en español: *La lógica de la investigación científica,* Madrid, Tecnos, 2008.]
Porter, R. (2000), *The Enlightenment: Britain and the Creation of the Modern World,* Londres, Penguin.
Quine, W. V. O. (1951/1953), "Two dogmas of empricism", *Philosophical Review.* Reimpreso en *From a Logical Point of View,* Nueva York, Harper & Row, 1953, pp. 20-46.
———— (1953), *From a Logical Point of View,* Nueva York, Harper & Row. [Hay edición en español: *Desde un punto de vista lógico,* Barcelona, Paidós, 2002.]
Rabi, I. I. (1967), *Science the Centre of Culture,* Nueva York, World Publishing.
Ratcliffe, M., y M. Grace (2003), *Science Education for Citizenship. Teaching Socio-Scientific Issues,* Maidenhead, Open University Press.
Reichenbach, H. (1938), *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge,* Chicago, University of Chicago Press.
Reiner, M., y L. M. Burko (2003), "On the limitations of thought experiments in physics and the consequences for physics education", *Science & Education,* vol. 12, pp. 365-385.
Reiner, M., y J. Gilbert (2000), "Epistemological resources for thought experimentation in science education", *International Journal of Science Education,* vol. 22, núm. 5, pp. 489-506.
Reiss, M. (2008), "The use of ethical frameworks by students following a new science course for 16-18 year-olds", *Science & Education,* vol. 17, núm. 8-9, pp. 889-902.
Resnik, D. B. (1998), *The Ethics of Science,* Nueva York, Routledge.
———— (2007), *The Price of Truth,* Oxford, Oxford University Press.
Rohrlich, F. (1987), *From Paradox to Reality: Our Basic Concepts of the Physical World,* Cambridge, Cambridge University Press.
Rooney, P. (1992), "On values in science: Is the epistemic/non espitemic distinction useful?", en D. Hull, M. Forbes y K. Okruhlik (coords.), *Proceedings of the 1002 Bienial Meeting of the Philosophy of Science Association,* PSA, vol. 1, pp. 13-22.
Rosser, S. V. (1986), *Teaching Science and Health from a Feminist Perspective,* Exeter, Pergamon Press.
Rosser, S. V. (1993), "Female friendly science: Including women in curricular content and pedagogy in science", *Journal of General Education,* vol. 42, pp. 191-220.
Roth, M. W. (1999), "Authentic school science: Intellectual traditions", en R.

McCormick y C. Paechter (coords.), *Learning and Knowledge,* Londres, SAGE, pp. 6-20.
Rudner, R. (1953), "The scientist qua scientist makes value judgments", *Philosophy of Science,* vol. 20, núm. 1, pp. 1-6.
———— (1954), "Value judgments in the acceptance of theories", en P. G. Frank (coord.), *The Validation of Scientific Theories,* Boston, Beacon Press, pp. 24-28.
Ruphy, S. (2006), "'Empiricism all the way down': A defense of the value-neutrality of science in response to Helen Longino's contextual empiricism", *Perspectives on Science,* vol. 14, pp. 189-214.
Sampson, V. D., y D. B. Clark (2008), "Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions", *Science Education,* vol. 92, núm. 3, pp. 447-472.
Sargent, R.-M. (2005), "Virtues and the scientific revolution", en N. Koertge (coord.), *Scientific Values and Civic Virtues,* Oxford, Oxford University Press, pp. 71-80.
Scalise, K., M. Timms, A. Moorjani, L. Clark, K. Holtermann y P. S. Irvin (2011), "Student learning in science simulations: Design features that promote learning gains", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 48, pp. 1050-1078.
Schecker, H. (1992), "The paradigmatic change in mecanics: Implications of historical processes on physics education", *Science & Education,* vol. 1, núm. 1, pp. 71-76.
Scheffler, I. (1970), "Philosophy and the curriculum", en *Reason and Teaching,* Londres, Routledge, 1973, pp. 31-44. Reimpreso en *Science & Education,* vol. 1, núm. 4, pp. 385-394.
———— (1982), *Science and Subjectivity,* 2ª ed., Indianápolis, Hackett (1ª ed., 1966).
Scheibe, E. (2000), "The origin of scientific realism: Boltzman, Planck, Einstein", en E. Agazzi y M. Pauri (coords.), *The Reality of the Unobservable,* pp. 31-44.
Schilpp, P. A. (coord.) (1951), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist,* 2ª ed., Nueva York, Tudor.
Schlesinger, G. N. (1996), "The power of thought experiments", *Foundations of physics,* vol. 26, núm. 4, pp. 467-482.
Scriven, M. (1976), *Reasoning,* Nueva York, McGraw-Hill.
Shackel, N. (2005), "The vacuity of postmodernist methodology", *Metaphilosophy,* vol. 36, núm. 3, pp. 295-320.
Shapere, D. (1984), *Reason and Search for Knowledge,* Dordrecht, Reidel.
Shapin, S. (1982), "History of science and its sociological reconstructions", *History of Science,* vol. 22, pp. 157-211.

Shimony, A. (1976), "Comments on two epistemological theses of Thomas Kuhn", en R. S. Cohen, P. K. Feyerabend y M. W. Wartosfky (coords.), *Essays in Memory of Imre Lakatos,* Dordrecht, Reidel, pp. 569-588.

Shimony, A. (1983), "Reflections on the philosophy of Bohr, Heisenberg, and Schrödinger", en R. S. Cohen y L. Laudan (coords.), *Physics, Philosophy and Psychoanalysis,* Dordrecht, Reidel, pp. 209-211.

———— (1989), "Search for a worldview which can accommodate our knowledge of microphysics", en J. T. Cushing y E. McMullin (coords.), *Philosophical Consequences of Quantum Physics,* Notre Dame, University of Notre Dame Press, pp. 25-37.

———— (1993), *Search for a Naturalistic World View,* vol. I, *Scientific Method and Epistemology,* Cambridge, Cambridge University Press.

Siegel, H. (1987), *Relativism Refuted,* Dordrecht, Reidel.

———— (1988), *Educating Reason: Rationality, Critical Thinking, and Education,* Londres, Routledge.

———— (1989), "The rationality of science, critical thinking, and science education", *Synthese,* vol. 80, núm. 1, pp. 9-42. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto y Nueva York, OISE Press-Teachers College Press, 1991.

———— (1993), "Naturalized philosophy of science and natural science education", *Science & Education,* vol. 2, núm. 1, pp. 57-68.

———— (1995), "Why should educators care about argumentation", *Informal Logic,* vol. 17, núm. 2, pp. 159-176.

Slezak, P. (1994a), "Sociology of science and science education: Part I", *Science & Education,* vol. 3, núm. 3, pp. 265-294.

———— (1994b), "Sociology of science and science education. Part II: Laboratory life under the microscope", *Science & Education,* vol. 3, núm. 4, pp. 329-356.

Smart, J. J. C. (1968), *Between Science and Philosophy: An Introduction to the Philosophy of Science,* Nueva York, Random House. [Hay edición en español: *Entre ciencia y filosofía,* Madrid, Tecnos, 1975.]

Smetana, L. K., y R. L. Bell (2012), "Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature", *International Journal of Science Education,* vol. 34, núm. 9, pp. 1337-1370.

Smith, M. U., y H. Siegel (2004), "Knowing, believing and understanding: What goals for science education?", *Science & Education,* vol. 13, pp. 553-582.

Sorensen, R. A. (1992), *Thought Experiments,* Oxford, Oxford University Press.

Sprod, T. (2011), *Discussions in Science: Promoting Conceptual Understanding in the Middle School Years,* Melbourne, ACER Press.

——— (2014), “Philosophical inquiry and critical thinking in primary and secondary science education”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1531-1564.

Stebbing, L. S. (1937/1958), *Philosophy and the Physicists,* Nueva York, Dover Publications.

Stephens, A. L., y J. Clement (2012), “Role of thought experiments in science and science learning”, en K. Tobin, C. McRobbie y B. Fraser (coords.), *Second International Handbook of Science Education,* Dordrecht, Springer, pp. 157-175.

Stinner, A. (1990), “Philosophy, thought experiments and large context problems in the secondary school physics course”, *International Journal of Science Education,* vol. 12, núm. 3, pp. 244-257.

Trefil, J. S. (1978), *Physics as a Liberal Art,* Oxford, Pergamon Press.

Trusted, J. (1991), *Physics and Metaphysics: Theories of Space and Time,* Londres, Routledge.

Tuana, N. (coord.) (1989a), *Feminism & Science,* Bloomington, Indiana University Press.

——— (1989b), “The weaker seed: The sexist bias in reproductive theory”, en N. Tuana (coord.), *Feminism & Science,* Bloomington, Indiana University Press, pp. 147-171.

Turner, S. C. (2012), “Changing images of the inclined plane: A case study of a revolution in American science education”, *Science & Education,* vol. 21, núm. 2, pp. 245-270.

Urbach, P. (1987), *Francis Bacon's Philosophy of Science,* LaSalle, Open Court.

Velentzas, A., y K. Halkia (2011), “The ‘Heisenberg's microscope’ as an example of using thought experiments in teaching physics theories to students of the upper secondary school”, *Research in Science Education,* vol. 41, pp. 525-539.

——— (2013), “From Earth to Heaven: Using the ‘Newton's canon’ thought experiment for teaching satellite physics”, *Science & Education,* vol. 23, pp. 2621-2640.

Wartosfky, M. W. (1968), *Conceptual Foundations of Scientific Thought: An Introduction to the Philosophy of Science,* Nueva York, Macmillan.

Weber, M. (1917/1949), “The meaning of ‘ethical neutrality’ in sociology and economics”, en E. A. Shils y H. A. Finch (trads.), *The Methodology of the Social Sciences,* Glencoe, The Free Press, pp. 1-47.

Weinberg, S. (2001), *Facing Up, Science and Its Cultural Adversaries,* Cambridge, Harvard University Press. [Hay edición en español: *Plantar cara: La ciencia y sus adversarios culturales,* Barcelona, Paidós, 2003.]

Wilson, E. P. (1998), *Consilience: The Unity of Knowledge,* Londres, Little, Brown. [Hay edición en español: *Consilience: La unidad del conocimiento,* Barcelona, Galaxia Gutenberg, 1999.]

Wimsatt, W. C. (2007), "False models as means to truer theories", en *Re-engineering philosophy for limited beings: Piecewise approximations to reality,* cap. 6, Cambridge, Harvard University Press.

Winchester, I. (1990), "Thought experiments and conceptual revision in science", *Studies in Philosophy and Education,* vol. 10, núm. 1, pp. 73-80. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto y Nueva York, OISE Press-Teachers College, 1991.

Winsberg, E. (2010), *Science in the Age of Computer Simulation,* Chicago, University of Chicago Press.

Yolton, J. W., R. Porter, P. Rogers y B. M. Stafford (coords.) (1991), *The Blackwell Companion to the Enlightenment,* Oxford, Basil Blackwell.

Zeidler, D. L. (coord.) (2003), *The Role of Moral Reasoning on Socioscientific Issues and Discourse in Science Education,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Zeidler, D. L., y T. D. Sadler (coords.) (2008), "Social and ethical issues in science education", número especial de *Science & Education,* vol. 17, núms. 8-9.

Ziman, J. (1968), *Public Knowledge: The Social Dimensions of Science,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *El conocimiento público. Un ensayo sobre la dimensión social de la ciencia,* México, Fondo de Cultura Económica, 1972.]

VI. LA HISTORIA Y LA FILOSOFÍA EN EL AULA: EL MOVIMIENTO DEL PÉNDULO[1]

En este capítulo nos concentraremos en la enseñanza de un solo tema, el movimiento del péndulo, para ilustrar los argumentos a favor de un enfoque liberal o contextual de la enseñanza de la ciencia. El tema se escogió en parte porque aparece en casi todos los programas de ciencia, y además porque es relativamente ordinario. En temas "candentes" como la evolución, la ingeniería genética, la energía nuclear, el cambio climático o la lluvia ácida es evidente por qué pueden resultar útiles las consideraciones históricas y filosóficas. Pero si puede defenderse el uso de la historia y filosofía de la ciencia para un tema "aburrido", su utilidad general se establecerá de forma más contundente. La ciencia del movimiento del péndulo ejemplifica, además, algunos temas importantes a los que hacemos referencia en este libro, entre ellos:

- la interacción entre las matemáticas, la observación y la experimentación en el desarrollo de la ciencia moderna;
- los impactos recíprocos entre la ciencia, la cultura y la sociedad;
- las relaciones mutuas entre la filosofía y la ciencia;
- la distinción entre los objetos materiales y la forma en que la ciencia considera estos objetos;
- el papel ambiguo de la evidencia empírica para justificar o falsar afirmaciones científicas;
- el contraste entre la conceptualización científica moderna y las que dicta el sentido común.

El péndulo ha desempeñado un papel muy importante en el desarrollo de la sociedad, la ciencia y la cultura occidentales. Ocupó un lugar central en los estudios de Galileo, Huygens, Newton, Hooke y los demás personajes protagónicos de la revolución científica. El estudio y la manipulación del péndulo produjeron muchos resultados: un método preciso de medición del tiempo y, por lo tanto, la solución al problema de la longitud; el descubrimiento de las leyes de la conservación y la teoría de las colisiones, y la determinación del valor de la aceleración provocada por la gravedad g, lo que permitió demostrar la variación de g entre las regiones polares y las ecuatoriales y así determinar la forma achatada de la Tierra. Proporcionó la evidencia crucial para la síntesis newtoniana de la mecánica terrestre y la celeste para demostrar, de este modo, que las leyes fundamentales son universales en el sistemas solar; una prueba dinámica de la rotación de la Tierra sobre su eje; el equivalente de masas inerciales y gravitacionales, una medida precisa de la densidad y, por lo tanto, de la masa de la Tierra, y mucho más. El movimiento del péndulo ocupó un lugar central en la discusión entre los aristotélicos y Galileo sobre el papel de la experiencia para resolver afirmaciones opuestas sobre el mundo, y apareció en la gran disputa metafísica de Newton con los cartesianos sobre la existencia del éter (Westfall, 1980, p. 376). Domenico Bertoloni Meli observó que: "Comenzando con Galileo, el péndulo empezaba a ocupar un lugar prominente en el estudio del movimiento y la mecánica, tanto en su carácter de dispositivo para medir el tiempo como en el de herramienta para estudiar el movimiento, la fuerza, la gravedad y las colisiones" (Meli, 2006, p. 206).

El historiador Bertrand Hall confirma, con buenas razones, que:

> En la historia de la física, el péndulo desempeña un papel de importancia singular. Desde los primeros años del siglo XVII, cuando Galileo anunció su formulación de las leyes que rigen el movimiento pendular, hasta los primeros años de este siglo, cuando fue sustituido por artefactos de mayor precisión, el péndulo fue tanto un objeto de estudio como una herramienta para estudiar problemas de astronomía, gravitación y mecánica [Hall, 1978, p. 441].

La importancia del péndulo en la ciencia y la filosofía sólo fue superada por la que tuvo para el comercio, la navegación, la exploración y la expansión de Occidente. Para el apremiante problema comercial y militar de determinar la longitud en el mar, así como para los asuntos económicos y sociales cotidianos, era crucial poder medir el tiempo en forma conveniente y precisa. El péndulo resolvió estos problemas. Desafortunadamente la importancia crucial del péndulo para el desarrollo de la ciencia moderna no se ve reflejada en los libros de texto ni en los planes de estudio, donde aparece como un tema "extremadamente árido" y hasta en las mejores clases se resuelve memorizando algunas fórmulas ($T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$), con unos pocos ejercicios matemáticos de rutina y tal vez

algunos ejercicios prácticos.

En los libros de texto convencionales las secciones sobre el movimiento del péndulo suelen exponer la forma en la que Galileo descubrió el movimiento isocrónico del péndulo. Lo relatan, por ejemplo, así:

> Cuando él [Galileo] tenía apenas 17 años hizo una observación pasiva de un candelabro que se mecía como un péndulo en la iglesia de Pisa, donde creció. Se dio cuenta de que se movía gracias a la suave brisa que entraba por la puerta entreabierta de la iglesia. Aburrido del sermón, observó cuidadosamente el candelabro, puso las yemas de los dedos sobre su muñeca y sintió su pulso. Notó algo asombroso […] A veces el candelabro recorría una larga distancia y a veces casi no se movía […] [y sin embargo] oscilaba el mismo número de veces cada 60 latidos de su corazón [Wolf, 1981, p. 33].

Esta historia aparece en las primeras páginas del libro de texto de física de preparatoria más usado del mundo: *Physics* [Física], de la PSSC (PSSC, 1960).[2]

Si decidimos creer esta historia, surge una pregunta básica: por qué el supuesto isocronismo del péndulo sólo se observó en el siglo XVI, cuando muchas personas de gran intelecto y con agudos poderes de observación llevaban miles de años empujando niños en sus columpios, observando lámparas y pesos oscilantes y utilizando plomadas para afinar instrumentos musicales sin darse cuenta de dicho isocronismo. Durante siglos, la gente había tratado de encontrar una medida confiable del tiempo, con fines tanto científicos como cotidianos, para determinar la duración de las actividades y los eventos, y con el objetivo vital de determinar la longitud en el mar durante la navegación. Puesto que el péndulo isocrónico era la respuesta a todos estos problemas, la incapacidad generalizada de reconocer algo al parecer tan obvio resulta muy instructiva. Sugiere que no se trata sólo de un problema de percepción, sino que está involucrado uno más profundo: un problema de epistemología, de cómo vemos las cosas.

Nicole Oresme (1320-1382) discutió, en el siglo XIV, el movimiento del péndulo. En *On the Book of the Heavens and the World of Aristotle* [De los cielos y el mundo de Aristóteles], realizó el experimento mental de un cuerpo que se deja caer dentro de un pozo que cruza la Tierra por su centro y sale por el otro lado (un experimento mental que Galileo repitió en *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*). Oresme compara esta situación imaginaria con la de un peso que cuelga de una larga cuerda y que oscila hacia adelante y hacia atrás y en cada oportunidad recupera su posición original (Clagett, 1959, p. 570). Alberto de Sajonia, Tartaglia y Benedetti discutieron el mismo problema en el contexto de la teoría del ímpetu. Leonardo da Vinci, un gran observador, se ocupó en muchas ocasiones del movimiento del péndulo, y hacia finales de la década de 1490 bocetó dos péndulos, uno sobre una bomba de pistón y otro sobre lo que parece ser un reloj. Reconoció, anticipándose a la teoría de cuerdas de Galileo, que se desciende más rápido a lo largo de un arco de círculo que sobre la cuerda correspondiente. En

1569, Jacques Besson publicó en Lyon un libro que detallaba el uso del péndulo para regular sierras, fuelles, bombas y máquinas pulidoras mecánicas.[3]

Thomas Kuhn, en *La estructura de las revoluciones científicas*, usó el relato de Galileo sobre el péndulo para delimitar la transformación epistemológica entre la vieja y la nueva ciencia. Escribió:

> Desde la Antigüedad más remota, la mayoría de las personas han visto algún objeto pesado balanceándose al extremo de una cuerda o cadena, hasta que finalmente queda en reposo. Para los aristotélicos, que creían que un cuerpo pesado se desplazaba por su propia naturaleza de una posición superior a una más baja hasta llegar a un estado de reposo natural, el cuerpo que se balanceaba simplemente estaba cayendo con dificultad […] Galileo, por otra parte, al observar el cuerpo que se balanceaba, vio un péndulo, un cuerpo que casi lograba repetir el mismo movimiento, una y otra vez, hasta el infinito. Y después de ver esto, Galileo observó también otras propiedades del péndulo y construyó muchas de las partes más importantes y originales de su nueva dinámica, de acuerdo con esas propiedades [Kuhn, 1970, pp. 118-119].

El problema de cómo Galileo reconoció y probó las leyes del movimiento del péndulo resulta relevante para la enseñanza del tema. Los maestros desean que sus alumnos reconozcan y prueben las propiedades del movimiento del péndulo: que el periodo es independiente de la masa y de la amplitud, y que varía con el inverso del cuadrado de la longitud. La manera en que se descubrieron estas propiedades puede iluminar los esfuerzos actuales por enseñar y aprender el tema; como ocurre con otros asuntos en ciencia, su historia tiene un valor tanto intrínseco como pedagógico.

En una carta de 1632, diez años antes de su muerte, Galileo hizo un recuento de sus logros en física y dejó asentada su deuda con el péndulo por permitirle medir el tiempo de la caída libre, que, dijo, “obtendremos de la maravillosa propiedad del péndulo, la cual es que hace todas sus vibraciones, grandes o pequeñas, en los mismos tiempos” (Drake, 1978, p. 399). Usar el movimiento del péndulo como medida del paso del tiempo fue un logro suficientemente trascendental, pero el instrumento también es central para la exploración de Galileo de la caída libre, el movimiento de los cuerpos por un medio resistente, la conservación del momento y la tasa de caída de los cuerpos pesados y ligeros. Su análisis del movimiento del péndulo fue, así, crucial para derrocar la física aristotélica y para el desarrollo de la ciencia moderna del movimiento, un avance sobre el cual el historiador Herbert Butterfield ha dicho: “De todos los obstáculos intelectuales a los que se ha enfrentado y ha superado la mente humana en los últimos 500 años, el que me parece el más sorprendente en carácter y el más formidable en el alcance de sus consecuencias es el que se refiere al problema del movimiento” (Butterfield, 1949/1957, p. 3).

En su última obra, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias,* escrita durante el periodo de arresto domiciliario que siguió al juicio que, para muchos, marcó los comienzos de la era moderna, Galileo escribió:

> Llegamos ahora a los otros problemas, relacionados con los péndulos, un tema que a muchos puede parecer extremadamente árido, en especial a aquellos filósofos que están continuamente ocupados con los asuntos más profundos de la naturaleza. Sin embargo, el problema es uno que no menosprecio. Me anima el ejemplo de Aristóteles, a quien admiro en particular porque no cejó en discutir cualquier tema que pensara que merecía cualquier grado de consideración [Galileo, 1638/1954, pp. 94-95].

El comentario de Galileo en el sentido de que las investigaciones sobre el péndulo podían parecer “extremadamente áridas” por desgracia ha tenido eco en los alumnos de ciencia durante los 400 años siguientes.

Las primeras investigaciones de Galileo sobre el péndulo

La nueva ciencia de Galileo tenía raíces ingenieriles o prácticas: trabajó, o estuvo familiarizado, con diversas máquinas y observó que muchas usaban péndulos; no tuvo que esperar a que la brisa meciera el candelabro de la catedral para tener su primera experiencia con el movimiento del péndulo. Y no fue sólo observar o contemplar máquinas, o incluso leer sobre ellas —planos inclinados, tornillos, palancas, péndulos—, sino trabajar con ellas lo que sentó las bases para la transformación que realizaría Galileo

de la ciencia de su época.[4]

Cuando el joven Galileo fue, por poco tiempo, estudiante de medicina en Pisa, usó el péndulo para hacer un simple instrumento diagnóstico para medir el ritmo cardiaco. Se llamaba el *pulsilogium.* Los médicos de la época de Galileo ya sabían que el ritmo cardiaco tenía una gran importancia, pero no existía ninguna forma objetiva, ya no digamos precisa, de medir el pulso. La respuesta de Galileo a este problema fue ingeniosa y sencilla: suspendió un peso de plomo de una cuerda corta, montó la cuerda sobre una tabla con una escala, echó a andar el péndulo y movió el dedo por la tabla hasta el punto de suspensión (acortando así el péndulo) hasta que el péndulo oscilaba en sincronía con el pulso del paciente. Puesto que el periodo de oscilación depende únicamente de la longitud de la cuerda, y no de la amplitud de las oscilaciones o del peso de la plomada, la longitud de la cuerda proporcionó una medida objetiva y reproducible de la velocidad del pulso, que podía comunicarse entre doctores y pacientes y del cual podía llevarse un registro.

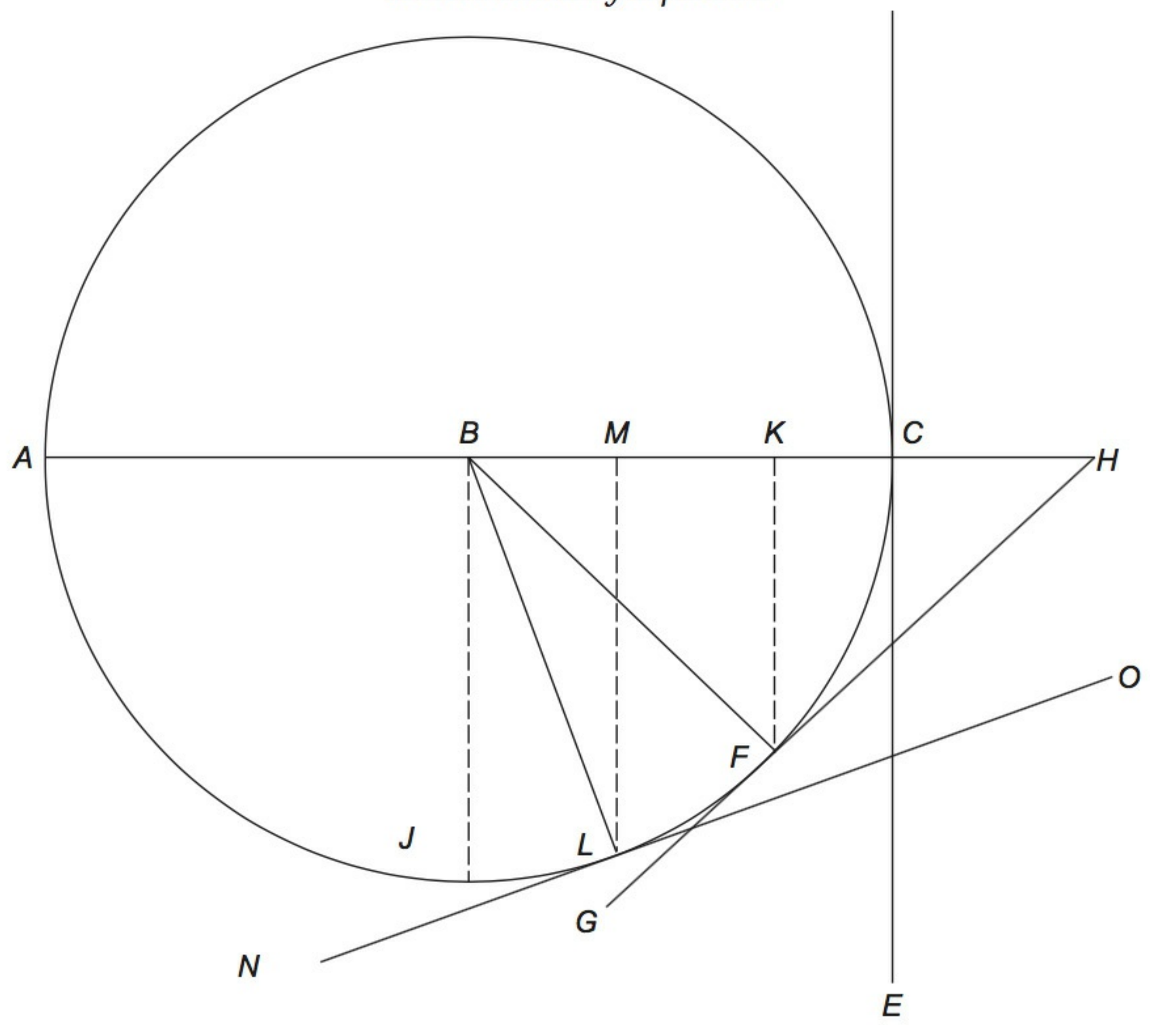
El *pulsilogium* le proporciona a los alumnos una útil lección epistemológica (y es fácil de hacer). Al principio se usaba una cosa subjetiva, el pulso, para calcular el paso del tiempo; en algunos casos, en particular el de la música, se usaban las pulsaciones como medida. Con el *pulsilogium* de Galileo esta medida subjetiva fue sometida a una medida externa, objetiva y pública: la longitud de la cuerda. Se trató de un pequeño paso hacia la medición objetiva y precisa, de la que dependerían los avances científicos del siglo XVII en adelante.

Tras ser nombrado lector en matemáticas en la Universidad de Pisa en 1588, Galileo pronto se sumergió en las matemáticas y la mecánica del “sobrehumano Arquímedes”, que nunca menciona sin “un sentimiento de asombro” (Galileo, 1590/1960, p. 67). La principal obra pisana de Galileo es *De motu* [Sobre el movimiento] (1590/1960). Allí se ocupa de la gama de problemas que discutían por entonces los filósofos naturales: la caída libre, el movimiento sobre básculas, aquel sobre planos inclinados y el movimiento circular. En estas discusiones, las circunstancias físicas se representan geométricamente y se usa un razonamiento matemático para establecer varias conclusiones en física: aquí Galileo comienza la minuciosa matematización de la física, que es una idea totalmente moderna.[5] El genio de Galileo fue darse cuenta de que todos los movimientos antes mencionados podrían analizarse mediante una sola estructura geométrica. Es decir, los movimientos que parecen tan distintos en el mundo podían representarse y tratarse matemáticamente de una forma bastante ordinaria.[6]

Considérese un péndulo suspendido en *B* que se mueve por *C*, *F*, *L*, *J*. Esta disposición es de lo más útil; le permitió a Galileo analizar el movimiento del péndulo como un movimiento sobre un borde circular y como un movimiento sobre una cuerda suspendida. Al considerar movimientos iniciales, infinitesimales, pudo entender el

movimiento del péndulo como una serie de movimientos tangenciales que descienden por planos inclinados. Dos años más tarde le escribiría a su mecenas, Guidobaldo del Monte, una importante carta sobre estas proposiciones.

FIGURA VI.1. *El diagrama compuesto de Galileo sobre la palanca, el plano inclinado, la caída vertical y el péndulo*



FUENTE: Galileo, 1590/1960, p. 173.

Galileo usó el diagrama de la figura VI.1 para probar algunas propiedades del movimiento del péndulo. Es importante señalar que Galileo matiza esta prueba al añadir:

> Pero esta prueba debe entenderse en el supuesto de que no hay una resistencia accidental (provocada por la aspereza del cuerpo en movimiento o del plano inclinado, o por la forma del cuerpo). Debemos asumir que el plano es, por decirlo de algún modo, incorpóreo, o al menos que ha sido pulido muy cuidadosamente y que es perfectamente duro […] y que el cuerpo en movimiento debe ser perfectamente liso […] y del material más duro.

Galileo presentó aquí unas condiciones ideales de fundamental importancia. Su ciencia no se ocuparía únicamente de cómo se comporta el mundo, sino de cómo debería hacerlo. En otras palabras, su ciencia se trataba sobre cómo se comportaría el mundo si se cumplieran varias condiciones: para el péndulo, si la cuerda no tuviera peso, si la plomada no sintiera la resistencia del aire, si el fulcro estuviera libre de fricción, etc. En los experimentos controlados pueden satisfacerse algunas de estas condiciones, pero otras no, y sin embargo fueron cruciales para la ciencia de Galileo.[7]

Guidobaldo del Monte: Mecenas y crítico de Galileo

El oponente más importante de las incipientes ideas de Galileo sobre el péndulo fue su propio mecenas académico, el distinguido ingeniero aristotélico Guidobaldo del Monte (1545-1607). Del Monte fue uno de los grandes matemáticos y mecánicos de finales del siglo XVI. Tradujo las obras de Arquímedes, escribió un importante libro sobre mecánica (Monte, 1581/1969), un libro sobre geometría, *Planispheriorum universalium theorica* (1579), uno sobre técnicas de perspectiva, *Perspectiva* (1600) y un libro inédito sobre la medición del tiempo, *De horologiis,* que discute la teoría y la construcción de relojes de sol. Era un ingeniero mecánico muy competente y director del Arsenal de Venecia, un artista consumado, un noble menor y hermano de un famoso cardenal. También fue el mecenas de Galileo quien le aseguró su primer puesto como lector de Matemáticas en la Universidad de Pisa (1588-1592) y su segundo puesto académico como lector de Matemáticas en la Universidad de Padua (1592-1610).

El documento más importante que se conserva de los intercambios entre Galileo y su mecenas es una carta fechada el 29 de noviembre de 1602, cuando Galileo le cuenta sobre su descubrimiento de la isocronía del péndulo y le explica sus pruebas matemáticas de las “leyes del péndulo”.[8] Puesto que la carta es un parteaguas en la historia de la medición del tiempo y la ciencia de la mecánica, e ilustra otros aspectos de la metodología de Galileo y de su estilo científico, merece ser reproducida:

> V. S. Ill.ma debe perdonar si soy inoportuno al querer persuadirlo de la verdad de la proposición de los movimientos hechos en tiempos iguales en la misma cuarta parte del círculo, porque, pareciéndome siempre admirable, me lo parece más ahora que a V. S. Ill.ma le parece imposible: pues yo estimaría un gran error y defecto míos si permitiera que fuera repudiada por sus conjeturas como si fuera falsa, no ameritando su censura ni tampoco ser desterrada del intelecto de vuestra señoría ilustrísima, que podrá, más que cualquiera, mantenerlo en el exilio de nuestras mentes. Y puesto que la experiencia, por la cual me he convencido de tal verdad, es tan certera, por más confusamente que la haya podido explicar en mi otra [carta], la repetiré de forma más clara de modo que ahora usted, haciéndolo [el experimento] pueda asegurarse de esta verdad.
>
> Tome, pues, dos hilos delgados de la misma longitud, cada uno de dos o tres brazas [entre 1.2 y 1.8 metros]; que sean *AB* y *EF*, y fije a dos clavos *A* y *E* y en los otros extremos, *B* y *F,* amarre dos bolas de plomo iguales (aunque no importaría que no lo fueran), moviendo luego cada uno de los dichos hilos de su

perpendicular, pero uno más, como sería para el arco *CB*, y el otro muy poco, como sería el segundo arco *IF*; déjelos caer en el mismo momento y permítales moverse libremente, y uno comenzará a describir arcos grandes, parecidos a *BCD*, y el otro los describirá pequeños, similares a *FIG*; pero no le tomará más tiempo al móvil *B* recorrer todo el arco *BCD* que al otro móvil *F* pasar el arco *FIG* [véase la figura VI.2]. De esto estoy cierto por lo siguiente:

El móvil *B* pasa por el gran arco *BCD* y regresa al mismo *DCB*, y luego vuelve hacia *D*, y lo hace 500 o 1 000 veces repitiendo sus oscilaciones; el otro también va de *F* a *G*, y de allí regresa a *F*, y del mismo modo hará muchas oscilaciones, y en el tiempo en que cuento digamos las primeras 100 oscilaciones *BCD*, *DCB*, etc., otro observador cuenta otras 100 oscilaciones muy pequeñas para *FIG*, y no cuenta ni una más; señal evidentísima de que cada uno de esos enormes arcos *BCD* consumen tanto tiempo como cada uno de los pequeños *FIG*. Ahora, si todas las *BCD* transcurren en el mismo tiempo que las *FIG*, que son su mitad, de modo que deben pasar por arcos desiguales del mismo cuadrante, lo harán en el mismo tiempo. Pero incluso sin tener que contar nada, V. S. Ill.ma verá que el móvil *F* no hará sus pequeñas oscilaciones con más frecuencia que el móvil *B* las suyas enormes, sino que siempre estarán juntas.

El experimento, que usted me dice haber hecho con un tamiz [dispuesto en forma vertical] puede resultar bastante incierto, si tal vez la superficie no estuviera bien pulida o si no fuera perfectamente circular, y también porque con una sola pasada no puede observarse muy bien el momento mismo del inicio del movimiento; pero si V. S. Ill.ma quisiera tomar esta superficie cóncava y dejar caer de una gran distancia, como sería del punto *B*, libremente, la bola *B,* ésta pasará por *D* y hará al principio grandes oscilaciones y al final unas pequeñas, pero no por ello hará las últimas en lapsos más frecuentes que las primeras [véase la figura VI.3].

Sobre que pueda parecer irrazonable que, tomándose un cuadrante de 100 millas de largo, dos móviles iguales puedan recorrerlo, uno en toda su extensión y el otro en un solo palmo, en tiempos iguales, digo que es verdad que resulta admirable; pero si consideramos que podría haber un plano un poco inclinado, tal como sería la superficie de un río, que se moviera muy lentamente, de modo que sobre éste un móvil naturalmente no se movería más que un palmo en el tiempo en el que otro sobre un plano más inclinado (o bien uno que hubiera recibido un enorme impulso aunque fuera sobre una diminuta inclinación) recorre 100 millas; tal vez esta proposición por ventura no es más inverosímil que la de que tres triángulos con los mismos paralelos y bases iguales siempre son iguales, por más que uno sea pequeñísimo y el otro de 1 000 millas de largo. Pero volviendo a nuestra materia, creo haber demostrado que esta conclusión no es más impensable que la otra.

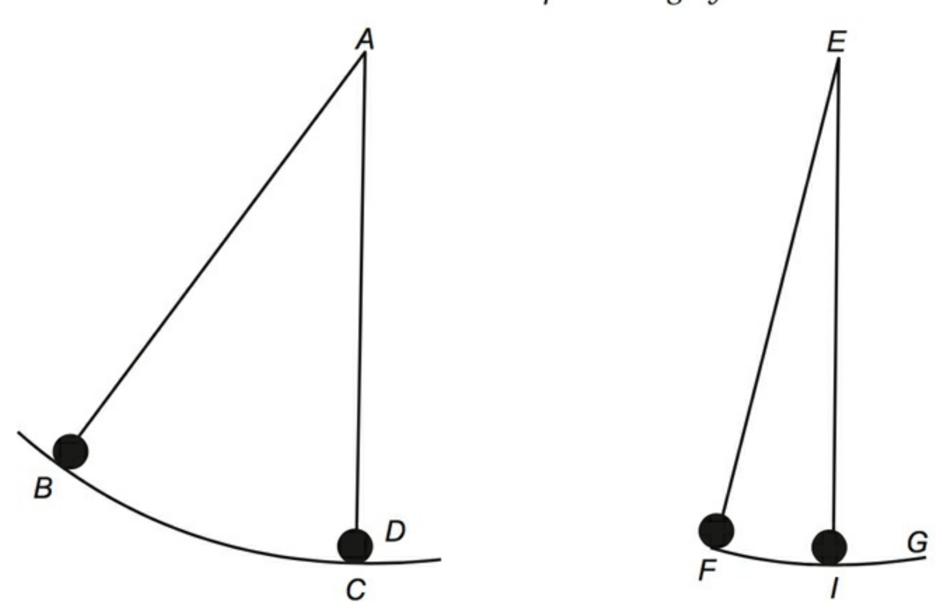
Que *BA* sea el diámetro del círculo *BDA* dispuesto hacia la horizontal, y que del punto *A* hacia la circunferencia se dibuje una línea *utcumque* [cualquiera] *AF*, *AE*, *AD* y *AC:* demuestro que móviles iguales caen en tiempos iguales para la perpendicular *BA* y para los planos inclinados según las líneas *CA*, *DA*, *EA* y *FA*; de modo tal que, partiéndose en el mismo momento de los puntos *B*, *C*, *D*, *F*, llegarán en el mismo momento al punto final *A*, y que la línea *FA* puede ser tan corta como se desee.

Y tal vez parecerá aún más sorprendente esto, demostrado por mí, que siguiendo la línea *SA*, no mayor que la cuerda de un cuadrante, y las líneas *SI*, *IA utcumque*, el mismo móvil recorrerá más rápido el camino *SIA*, partiendo de *S*, que el recorrido de *IA*, partiendo de *I*. Hasta aquí he demostrado sin transgredir los límites mecánicos; pero no parezco poder demostrar que los arcos *SIA* e *IA* se recorren en tiempos iguales; es lo que intento.

Hágame la gracia de transmitirle mis consideraciones al Sig.r Francesco, diciéndole que cuando tenga un poco de tiempo libre le escribiré sobre un experimento que ya tengo en la mente para medir la fuerza de los golpes: sobre su pregunta, estimo que lo que dice V. S. Ill.ma está muy bien formulado, y que cuando comenzamos a ocuparnos de la materia, por la razón de su naturaleza contingente empezamos a modificar las proposiciones abstractas que consideramos mediante la geometría; de las cuales, así modificadas, no podemos asegurar la ciencia, aunque el matemático está absolutamente seguro de sus especulaciones.

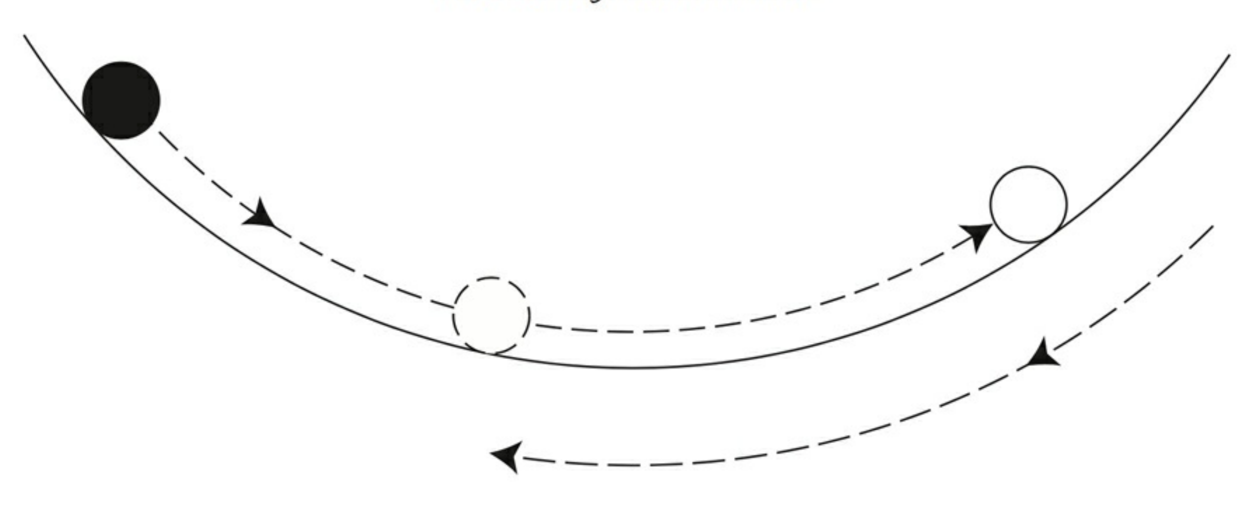
He sido demasiado largo y aburrido con V. S. Ill.ma: tenga la gracia de perdonarme, y ámeme como a su devoto servidor. Y le beso las manos con toda reverencia (Drake, 1978, p. 71) <http://www.liberliber.it/mediateca/libri/g/galilei/le_opere_volume_x_carteggio_1574_1610/pdf/le_ope_p.pdf)>

Figura vi.2. *Péndulos de amplitud larga y corta*



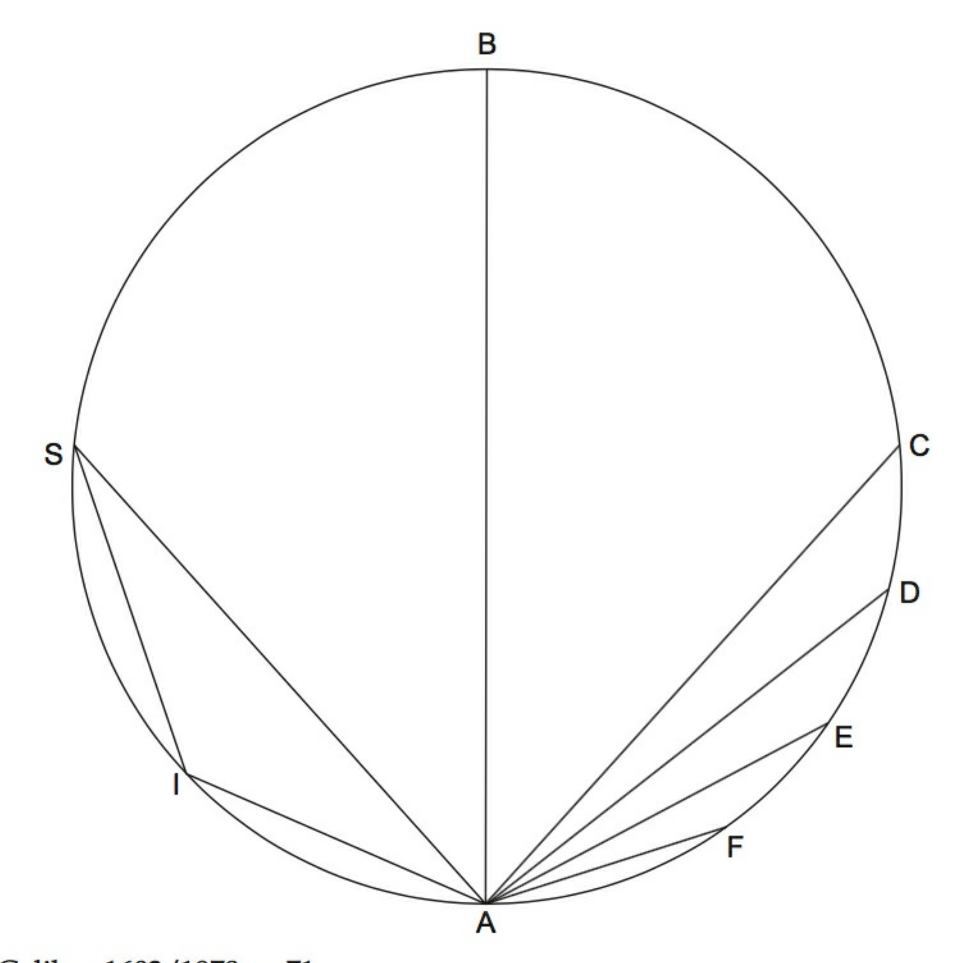
Fuente: Galileo, 1602/1978, p. 69.

Figura vi.3. *Bola en un aro*



Fuente: Galileo, 1602/1978, p. 70.

Figura vi.4. *Ley de las cuerdas*



Fuente: Galileo, 1602/1978, p. 71.

Así, en 1602, Galileo afirma dos codas sobre el movimiento de las cuerdas en un círculo:

1) Que en un círculo el tiempo que tarda en descender un cuerpo en caída libre a lo largo de todas las cuerdas que convergen en el nadir es el mismo sin importar la longitud de la cuerda.
2) En el mismo círculo, el tiempo de caída a lo largo de una cuerda es mayor que a lo largo de sus cuerdas compuestas, aunque el primer camino es más corto que el segundo.

Esto lo sitúa tentadoramente cerca de hacer una afirmación sobre el movimiento a lo largo de los arcos del círculo, el caso del péndulo, pero no llega del todo. En efecto, menciona la situación del péndulo, y dice que dos péndulos de 1.8 metros se conservan en sincronía durante 1 000 oscilaciones, unas amplias, otras que apenas se alejan de la vertical. Pero no está preparado para dar el salto; dice: “no parezco poder demostrar que

los arcos *SIA* e *IA* se recorren en tiempos iguales; es lo que intento". Galileo "ve" que se recorren en tiempos iguales; tiene pruebas empíricas —si es que puede considerarse un comportamiento hipotético en condiciones ideales una prueba empírica—, pero le falta una "demostración". Cree que sólo los matemáticos pueden proporcionar una.

A Del Monte no le impresionaron estas pruebas; decía que Galileo era mejor matemático que físico. Era razonable que Del Monte no pudiera creer que un cuerpo oscila en un arco de 10 o 20 metros en el mismo lapso en el que otro que, suspendido de una cuerda de la misma longitud, se mueve apenas uno o dos centímetros. Como mecánico, además, llevó a cabo experimentos con bolas que giraban dentro de aros de hierro y encontró que las afirmaciones de Galileo de hecho eran falsas: las bolas que se dejaban caer desde diferentes posiciones en la parte baja de la circunferencia del aro alcanzaban el nadir en diferentes momentos.

Se trata de otro caso en el que la experiencia y el sentido común entraban en conflicto con la ciencia. Dada la importancia central del péndulo para los orígenes de la ciencia moderna, este caso ayuda a explicar por qué ésta tardó tanto en aparecer en la historia de la humanidad y por qué, cuando finalmente lo hizo, estaba tan geográficamente localizada; fue la ciencia europea occidental la que, en el transcurso de unas pocas décadas, se convirtió en la ciencia universal. Por suerte para la historia científica y social posterior, a Galileo no lo conmovieron ni Del Monte ni sus objeciones de sentido común.

Galileo y sus ideas maduras sobre el péndulo

Galileo terminó su física, con su noción de inercia circular y su análisis sobre el péndulo, en 1610, cuando estaba a la mitad de su cuarta década de vida, pero esta física no se publicó o divulgó de manera generalizada; por suerte, en 1608 le presentaron el telescopio, que distrajo su atención hacia las observaciones astronómicas y hacia una defensa del sistema copernicano del mundo que duraría décadas. Las investigaciones de Galileo sobre el péndulo aparecerían en público más tarde, en sus célebres defensas del copernicanismo: su *Diálogo* de 1632 y sus *Consideraciones,* de 1638. Sus famosas afirmaciones sobre el péndulo fueron:

- *La ley de las masas:* el periodo es independiente del peso.
- *La ley de la independencia de la amplitud:* el periodo es independiente de la amplitud.
- *La ley de las longitudes:* el periodo varía en relación directa con la longitud, en particular con la raíz cuadrada de ésta.
- *La ley de la isocronía:* para cualquier péndulo todas las oscilaciones toman el mismo tiempo; el movimiento del péndulo es isocrónico.

Si bien ahora son rutina, se repiten en los libros de texto y se “reproducen” en las clases prácticas, estas afirmaciones resultaron muy polémicas y fueron muy discutidas en el momento en el que se formularon, y por buenas razones. Hay mucho que aprender sobre la naturaleza de la ciencia a partir de las disputas sobre la legitimidad de la matematización y la idealización que éstas ocasionaron en la ciencia.

Las afirmaciones sobre el péndulo pueden documentarse brevemente como sigue. Durante el Primer Día de sus *Consideraciones* de 1638, Galileo expresa su ley de las masas como sigue:

> He cogido dos bolas, una de plomo y la otra de corcho, siendo aquélla 100 veces más pesada que ésta. Até, después, cada una a dos cordones iguales, muy delgados y de una longitud de cuatro o cinco brazas, colgándolas a cierta altura. Habiendo separado, luego, las dos bolas de la perpendicular, las he dejado que se pusieran en marcha al mismo tiempo; entonces, siguiendo las circunferencias de los círculos descritos por los cordones, sus radios han pasado más allá de la perpendicular, para volver, después, atrás por el mismo lugar. Y repitiendo más de 100 veces estas idas y venidas, han demostrado de modo palpable que la bola más pesada se adecua de tal modo al ritmo de la más ligera que ni en 100 vibraciones ni tampoco en 1 000 tomaría aquélla la más mínima delantera [mínimo momento], sino que ambas marchan al mismísimo paso [Galileo, 1638/195, p. 84] [Galileo, 1981, Madrid, Editora Nacional, ed. de Carlos Solís y Javier Sádaba, pp. 176-177.]

En el Cuarto Día del *Diálogo* de 1632, Galileo expone su ley de la independencia de la amplitud al decir:

> [Es] verdaderamente notable […] que el mismo péndulo haga sus oscilaciones con la misma frecuencia, o una muy poco distinta —casi imperceptible— ya sea que recorra arcos muy largos o unos muy pequeños a lo largo de una circunferencia dada. Lo que quiero decir es que si movemos el péndulo de la perpendicular apenas uno, dos o tres grados, o por el otro lado 70 grados u 80 grados, o incluso un cuadrante completo, hará sus vibraciones, cuando se le libere, con la misma frecuencia en todos los casos [Galileo, 1632/1952, p. 450].

En su última gran obra sobre mecánica, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias* [1638], Galileo escribe:

> He de decir, ante todo, que en el tiempo en que uno de los péndulos pasa sus grados respectivos, 180, 160, etc., el otro pasará los 10, 8, etc., suyos […] si dos personas se ponen a contar las vibraciones, una de las más largas y la otra las más cortas, se encontrarán con que contarán no sólo decenas sino centenas de tales vibraciones sin que difieran lo más mínimo en una sola o en parte de una [Galileo, 1638/1954, p. 254] [Galileo, 1981, Madrid, Editora Nacional, ed. de Carlos Solís y Javier Sádaba, p. 309.]

En el Primer Día de las *Consideraciones,* Galileo expone su ley de las longitudes cuando, al discutir la afinación de los instrumentos musicales, dice:

> En cuanto a la relación entre los tiempos de las oscilaciones de los móviles que cuelgan de hilos de longitud diferente, dichos tiempos se encuentran en razón s*ubdupla* de las longitudes de los hilos; o dicho de otra manera, las longitudes están en proporción a los cuadrados de los tiempos. Si queremos, por ejemplo, que el periodo de oscilación de un péndulo sea el doble del de otro, es necesario que el hilo del primero sea, en lo

que a la longitud se refiere, cuatro veces mayor que el segundo. Igualmente, para que, en el tiempo de una oscilación de un péndulo, otro haga tres, el hilo del primero ha de ser nueve veces más largo que el del segundo. De lo que se sigue que las longitudes de los hilos tienen, entre sí, la misma proporción que los cuadrados de los números de oscilaciones que tienen lugar en el mismo tiempo [Galileo, 1638/1954, p. 96] [Galileo, 1981, Madrid, Editora Nacional, ed. de Carlos Solís y Javier Sádaba, p. 192.]

FIGURA VI.5. *Bola en un aro*

FUENTE: Galileo, 1632/1953, p. 451.

Su cuarta "ley" del péndulo, el movimiento isocrónico, es de la mayor importancia para el uso científico y social que se dio al péndulo posteriormente. A finales del siglo XV, el gran observador Leonardo da Vinci examinó, manipuló y dibujó muchos péndulos, pero como señala un estudioso: "No pudo, sin embargo, reconocer las propiedades fundamentales del péndulo, la isocronía de sus oscilaciones y las reglas que gobiernan su periodo" (Bedini, 1991, p. 5).

En el Cuarto Día de los *Diálogos* de 1632, Galileo aborda su ley de isocronía al decir:

Tómese un arco fabricado con un aro cóncavo muy liso y pulido que siga la curvatura de la circunferencia *ADB* [figura VI.5], de modo tal que una bola bien redondeada y lisa pueda correr libremente por él (el borde de un tamiz sirve bien para este experimento). Ahora afirmo que en cualquier lugar en el que se coloque la bola, ya sea cerca o lejos del límite último *B* […] y se libere, llegará al punto *B* en el mismo tiempo […] un

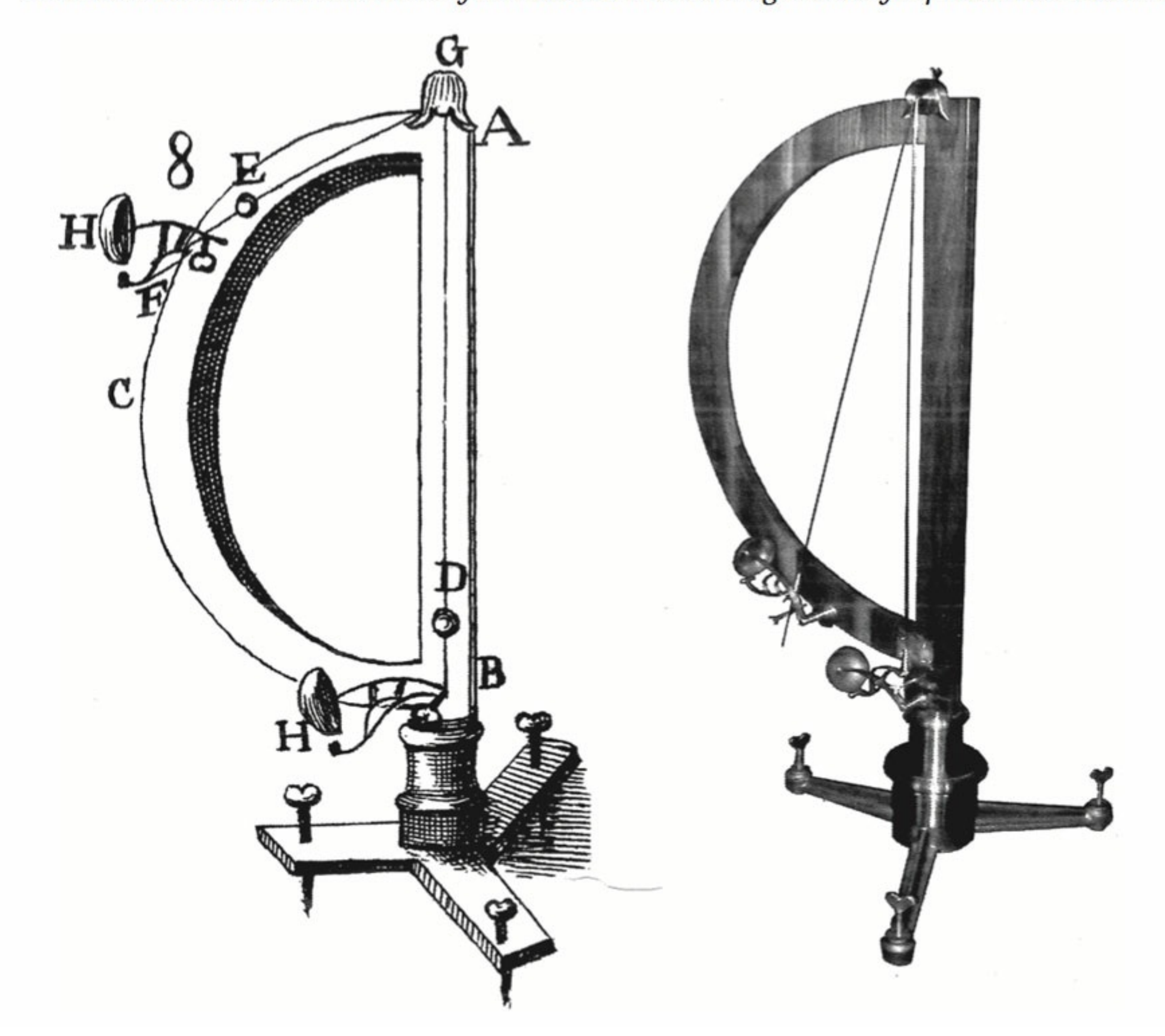
> fenómeno genuinamente notable [Galileo, 1632/1953, p. 451].

En el Primer Día de las *Consideraciones* de 1638, Galileo escribe, sobre su ley de isocronía, que:

> Pero tened esto bien presente: apartando el péndulo de plomo de la vertical 50 grados, por ejemplo, si lo dejamos caer desde ahí, vuelve a la vertical, sobrepasándola en otros 50 grados, más o menos, para describir de este modo un arco de casi 100 grados. Volviendo después, hacia atrás por sí mismo, describe otro arco, un poco más pequeño; continúa este vaivén, y después de un gran número de oscilaciones, acaba, finalmente, quedando en reposo. Cada una de tales oscilaciones tiene lugar en tiempos iguales, lo mismo la de los 90 grados como la de 50, de 20, de 10 o de 4, de modo que, como consecuencia de ello, la velocidad del móvil va languideciendo continuamente, ya que va recorriendo en tiempos iguales, arcos cada vez más pequeños. Un efecto parecido, si no igual, se obtiene suspendiendo el corcho de un hilo de la misma longitud […] [Galileo, 1638/1954, p. 84] [Galileo, 1981, Madrid, Editora Nacional, ed. de Carlos Solís y Javier Sádaba, p. 178.]

Desde la época de Galileo, se han hecho innumerables pruebas o demostraciones empíricas de estas pruebas matemáticas. Es un contenido estándar de los planes de estudio de física en la escuela. El diagrama de la figura VI.6 proviene de un texto de física del siglo XVIII (Guadagni, 1764, p. 32); la imagen fue tomada de una reproducción moderna que se exhibe en el museo de la Universidad de Pavía (Falomo *et al.,* 2014). Tanto el diagrama como la imagen se derivan de la prueba geométrica que hizo Galileo de su teorema de las cuerdas, que puede verse en la figura VI.4. Se trata de la indispensable secuencia científica de pasar del pensamiento a la realidad mediante el trabajo artesanal y la tecnología. En el texto que acompaña a la imagen se describen dos bolas que se sueltan de manera simultánea del vértice *A*; una viaja por la cuerda *AEF*, otra cae libremente por *ADB*, y las campanas al final de cada recorrido suenan al mismo tiempo. Si no lo hacen entonces el asunto consiste o bien en encontrar “accidentes” materiales, como la incompetencia del experimentador, que interfieren con el “ideal” o el “mundo en papel”, o bien en decidir que el teorema no se aplica en la realidad.

Figura vi.6. *Demostración de la ley de cuerdas. Texto del siglo* xviii *y reproducción moderna*



Esta ley de cuerdas está cerca de ser una prueba de la isocronía del movimiento del péndulo. La ley ha demostrado que el tiempo de descenso por un plano inclinado (una cuerda) es el mismo, siempre y cuando los planos estén inscritos en un círculo y se originen en el vértice o terminen en el nadir. Esto significa que la amplitud no afecta el tiempo, lo cual sugiere que existe una ley de los arcos, en la cual las amplitudes no deberían afectar el tiempo de caída o el de oscilación. Esta ley se prueba más adelante, en el teorema xxii de las *Consideraciones,* que también demuestra la proposición, contraintuitiva, de que el lapso más breve en caída libre no ocurre a lo largo del trayecto más corto (véase la figura vi.7). Dice Galileo:

> De lo demostrado hasta el momento, parece que se puede inferir que el movimiento más veloz [*lationem omnium velocissimam*] de un extremo a otro, no tiene lugar a lo largo de la línea más corta, sino a lo largo de un arco del círculo. En efecto, en el cuadrante *BAEC,* cuyo lado *BC* haya sido erigido sobre la horizontal, divídase el arco *AC* en un número cualquiera de partes iguales: A*D, DE, EF, FG* y *GC;* trácense desde *C* las

cuerdas a los puntos *A, D, E, F, G;* trácense, asimismo, las cuerdas *AD, DE, EF, FG* y *GC:* es evidente que el movimiento a lo largo de las cuerdas *ADC* es más rápido que a lo largo de sólo *AC*, o a lo largo de *DC* partiendo de *D* […] Así, pues, a lo largo de las cinco cuerdas, *ADEFGC,* el descenso será más rápido que a lo largo de las cuatro, *ADEFC.* Consecuentemente, cuanto más se aproximen los polígonos inscritos en la circunferencia, tanto menor es el tiempo requerido para el descenso de *A* a *C* [Galileo, 1638/1954, p. 84] [Galileo, 1981, Madrid, Editora Nacional, ed. de Carlos Solís y Javier Sádaba, pp. 374-375.]

FIGURA VI.7. *Prueba de la ley de cuerdas*

B
A
D
E
F
G
C

FUENTE: Galileo 1638/1954, p. 239.

Galileo notó que cualquier movimiento genuinamente isocrónico puede usarse como reloj: sólo hay que calibrar el movimiento contra la duración de un día sideral y crear un mecanismo y una tecnología para exhibir el movimiento isocrónico constante. Reconoció, además, que el péndulo oscilante era el ideal de dicho movimiento. Más adelante, Galileo propuso usar el péndulo como reloj, y su hijo Vincenzio elaboró algunos esbozos de esta propuesta.[9]

Las maravillosas pruebas de Galileo no fueron aclamadas por todos; por el contrario, los estudiosos más doctos se apresuraron a señalar algunos importantes problemas empíricos y filosóficos de dichas pruebas. Los problemas empíricos eran ejemplos de que el mundo no "se correspondía puntualmente" con los eventos que Galileo demostraba matemáticamente. En sus momentos más sinceros, Galileo reconoció que los acontecimientos en efecto no siempre se corresponden con su teoría; que el mundo material y lo que llamaba "el mundo en papel", el mundo teórico, no empataban. Inmediatamente después de establecer matemáticamente su famosa ley del movimiento parabólico de los proyectiles observa que:

> Concedo igualmente que las conclusiones probadas en abstracto se alteran y son tan engañosas en concreto que ni el movimiento transversal ni el uniforme ni la aceleración manual tienen lugar según la proporción que hemos supuesto ni la línea descrita por el proyectil es una parábola [Galileo, 1638/1954, p. 251] [Galileo, 1981, Madrid, Editora Nacional, ed. de Carlos Solís y Javier Sádaba, pp. 392-393.]

Uno puede imaginarse la reacción de Del Monte y de otros filósofos naturales y mecánicos aristotélicos cuando se toparon con estas reservas. Frustraba el objetivo básico de la ciencia para los aristotélicos y los empiristas: descubrir cosas sobre el mundo en el que vivimos. Se suponía que la ley del movimiento parabólico era verdad, pero no para el mundo que experimentamos. Para Del Monte y sus contemporáneos, esto fue tan difícil de entender como para los estudiantes actuales.

Ya desde 1636, el notable matemático y teólogo Marin Mersenne (1588-1648), que tendió redes entre todos los filósofos naturales contemporáneos, reprodujo los experimentos de Galileo, y no sólo coincidió con Del Monte sino que dudó de que Galileo de hecho los hubiera llevado a cabo (Koyré, 1968, pp. 113-117). Los investigadores modernos han duplicado las condiciones experimentales que describe Galileo y han descubierto que no arrojan los resultados que éste reportó (Ariotti, 1968; Naylor, 1974, 1980, 1989).

Del Monte y otros sostuvieron, repetidamente, que los péndulos no se comportan como lo afirmaba Galileo; Galileo nunca se cansó de decir que los péndulos ideales obedecerían las reglas derivadas matemáticamente. Del Monte replicó que la física debía tratarse de lo que pasa en este mundo, no en un imaginario mundo matemático. La oposición a la matematización de la física era una convicción aristotélica, y en general empirista, que estaba firmemente enraizada (Lennox, 1986). El empirista británico Hutchinson diría después, sobre las construcciones geométricas de los *Principia* de Newton, que no eran más que "telarañas de círculos y líneas para cazar moscas" (Cantor, 1991, p. 219).[10]

Es fácil apreciar las razones empíricas para oponerse a la ley de Galileo. El

argumento dominante era que, si dicha ley fuera cierta, los péndulos serían máquinas de movimiento perpetuo, como claramente no es el caso. Un péndulo isocrónico es uno en el cual el periodo de la primera oscilación es igual al de todas las oscilaciones que le siguen: esto implica un movimiento perpetuo. Sabemos que cualquier péndulo que pongamos en movimiento se detendrá pronto: el periodo de la última oscilación no será, de ningún modo, el mismo que el de la primera. Además, era evidente que los péndulos de corcho y de plomo tenían una frecuencia ligeramente diferente, y que las oscilaciones de grandes amplitudes tardan un poquito más que las oscilaciones de pequeñas amplitudes para péndulos de la misma longitud. Todo esto se le señaló a Galileo, y se le recordó el principio metodológico básico de Aristóteles: para avanzar en la comprensión del mundo debe darse preferencia a la evidencia de los sentidos sobre otras evidencias.

Las leyes fundamentales de la mecánica clásica no pueden verificarse con la experiencia; de hecho, es imposible verificarlas de manera directa. Herbert Butterfield (1900-1979) transmite parte de los problemas a los que se enfrentaron Galileo y Newton para forjar su nueva ciencia:[11]

> No se ocupaban de cuerpos reales tal como los observamos en el mundo real, sino de cuerpos geométricos que se movían por un mundo sin resistencia y sin gravedad, por esa nada infinita que es el espacio euclideano y que Aristóteles había considerado impensable. Así pues, tenemos que reconocer que a la larga había un problema de naturaleza fundamental que no podía resolverse mediante la observación cuidadosa dentro del marco conceptual del viejo sistema de ideas; se requería una transposición de la mente [Butterfield, 1949/1957, p. 5].

Una descripción objetivista y no empirista de la ciencia hace hincapié en que la transposición de la mente a la realidad es la creación de un nuevo objeto o sistema teórico. Incluso para Galileo, el péndulo parecía detenerse en la cima de su oscilación; era sólo en su teoría, pero no en su mente perceptual, que mantenía su movimiento continuo.[12]

Resultará útil que resumamos algunos de los últimos avances en la ciencia del movimiento del péndulo. Demuestran la interacción de las matemáticas y los experimentos durante la actividad científica, y la importancia de la ciencia para el avance de los sistemas teóricos y de los marcos conceptuales dentro de los cuales podemos interpretar e interrogar a la naturaleza. Ambos temas son importantes para enseñar el movimiento del péndulo.

El péndulo desempeñó mucho más que un papel científico en la formación del mundo moderno. Fue crucial para la revolución horológica que estuvo íntimamente vinculada con la revolución científica. En 1673, siguiendo el trascendental análisis de Galileo sobre el movimiento del péndulo, Huygens lo usó como parte de un mecanismo de relojería y así le dio al mundo su primer instrumento preciso para medir el tiempo (Yoder, 1988). En el transcurso de un par de décadas, la precisión de los relojes mecánicos pasó de más o menos media hora por día a unos cuantos segundos por día. Este súbito aumento en la precisión de la medición del tiempo introdujo un grado inédito de exactitud en las mediciones mecánicas, náuticas y astronómicas. Le abrió la puerta a un mundo de gran precisión, que caracterizaría la revolución científica (Wise, 1995). Ahora el tiempo podía expresarse con confianza como una variable independiente en la investigación de la naturaleza.

Christiaan Huygens (1629-1695) refinó las leyes del péndulo de Galileo y fue el primero en emplear estas leyes perfeccionadas para crear un reloj de péndulo. Huygens modificó el análisis de Galileo al mostrar matemáticamente que lo que era isocrónico era el movimiento de la cicloide, y no del círculo. Narró así su descubrimiento:

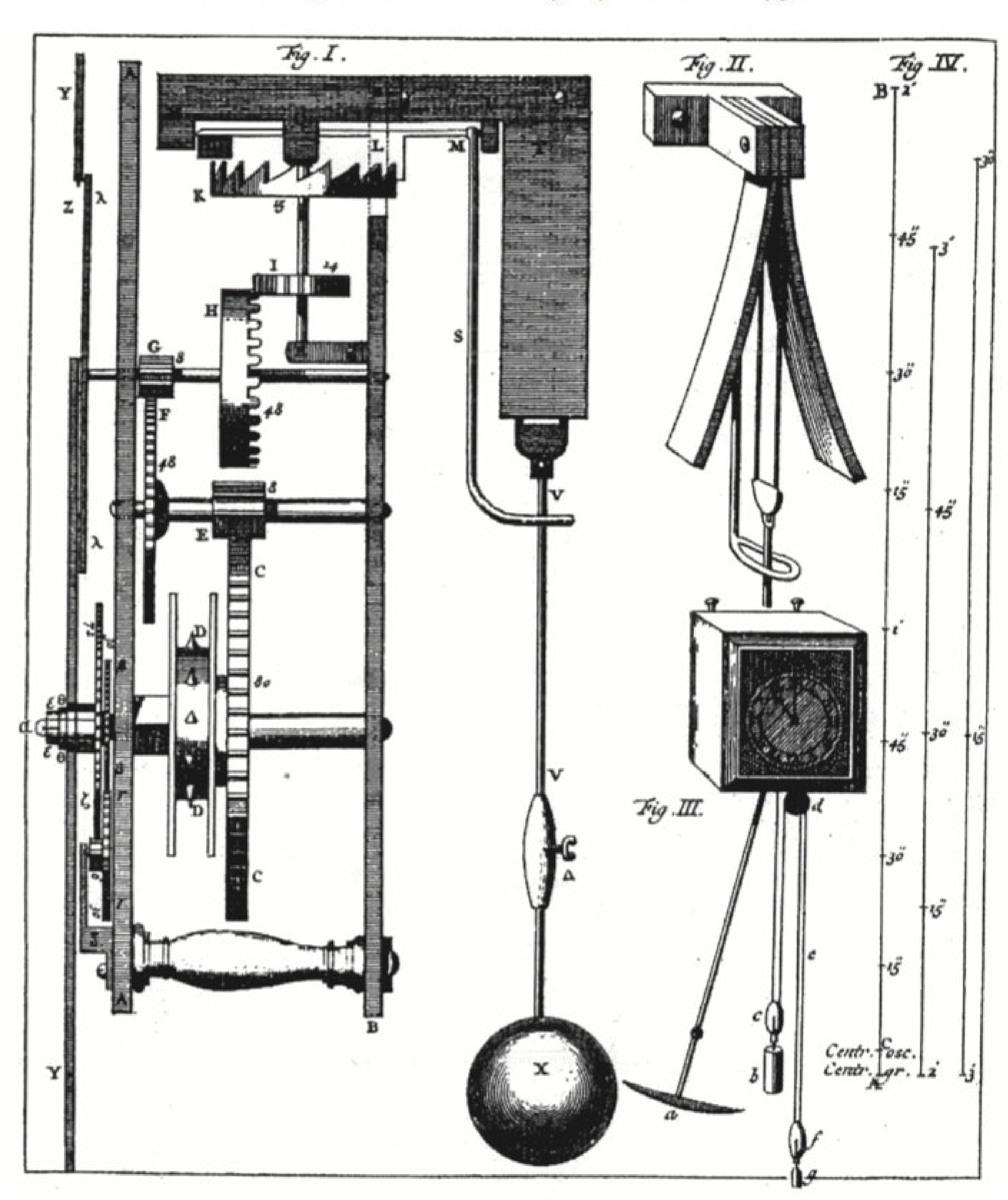
> Hemos descubierto una línea cuya curvatura es maravillosa y muy racionalmente apropiada para darle al péndulo la igualdad requerida […] Esta línea es el camino que traza en el aire un clavo que está fijo a una circunferencia sobre una rueda que gira continuamente. Los geómetras de la era actual han llamado esta línea una cicloide y han investigado cuidadosamente sus muchas otras propiedades. A nosotros nos resulta de interés lo que hemos llamado el poder de esta línea para medir el tiempo, el que encontramos no esperándolo sino únicamente siguiendo los pasos de la geometría [Huygens, 1673/1986, p. 11].

La cicloide es la curva que describe un punto P fijo a un círculo C que gira, sin deslizarse, sobre una línea fija AB. El arco completo ADB tiene una longitud igual a $8r$ (r = radio del círculo generador). A un cuerpo pesado que viaja a lo largo del arco de una cicloide dipuesta en posición vertical, con la concavidad viendo hacia arriba, siempre le tomará el mismo tiempo alcanzar el punto más bajo, sin importar el punto en el que comience su trayecto.

Tras demostrar matemáticamente que las cicloides eran isocrónicas, Huygens concibió un método simple para lograr que un péndulo suspendido oscile en una

trayectoria cicloidal: fabricó dos pestañas de metal con forma de cicloides e hizo que el péndulo oscilara entre ellas. El primer reloj de péndulo de Huygens (figura VI.9) tenía un rango de precisión de un minuto por día; trabajando con los mejores relojeros, pronto hizo instrumentos con una precisión de un segundo por día.

FIGURA VI.9. *Mecanismo del reloj de péndulo de Huygens*



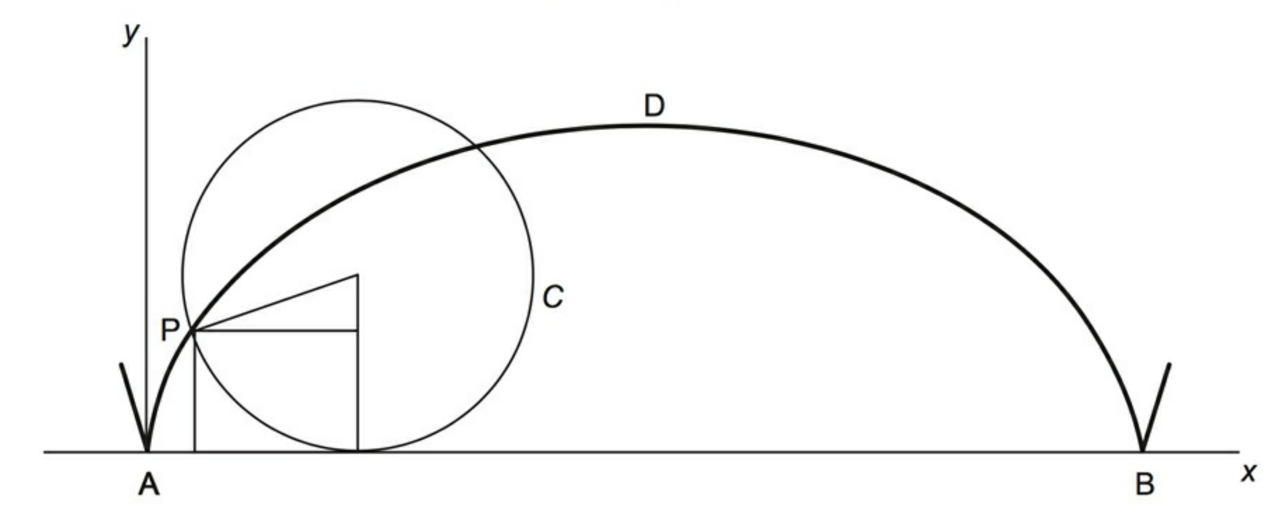
FUENTE: Huygens, 1673/1986, 14.

Tras demostrar que el periodo de un péndulo simple variaba conforme la raíz cuadrada de su longitud, Huygens (Huygens, 1673/1986, pp. 169-170) derivó la famosa ecuación para los péndulos de pequeña amplitud, es decir los que se mueven sobre el arco de una circunferencia:

$$T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$$

La formulación de Huygens de la teoría del péndulo es un ejemplo que funciona bien para los relatos objetivistas del desarrollo científico. A pesar del genio personal de Galileo, éste no fue capaz de apreciar o calcular correctamente las implicaciones del objeto teórico que él mismo creó. La teoría tenía consecuencias inadvertidas o indeseadas que requerían que hubiera otros que las resolvieran o descubrieran. Huygens descubrió, "siguiendo los pasos de la geometría", que la cicloide (figura VI.8), y no el círculo, era la curva tautócrona vital, una guía de la que desconfiaba la filosofía aristotélica para los asuntos físicos. El descubrimiento de la curva tautócrona tuvo muy poco que ver con las percepciones sensoriales. Su justificación tenía aún menos que ver con los datos de los sentidos o con otras supuestas bases empíricas para el conocimiento, tan elogiadas por los positivistas.

FIGURA VI.8. *Cicloide generada por un círculo en movimiento*



Huygens se dio cuenta de que en su ecuación del péndulo, $T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$, la única variable era *l,* puesto que π es una constante, que, siempre y cuando la Tierra sea una esfera y uno permanezca cerca del nivel del mar, *g* también es constante, y la masa no aparece para nada en la ecuación. Así, todos los péndulos de determinada longitud tendrán el mismo periodo, ya sea que se encuentren en Francia, Inglaterra, Rusia, América Latina, China o Australia. Y dadas *l* y *T*, puede determinarse *g* para cualquier ubicación. Huygens era lo suficientemente astuto como para concluir que el péndulo no resolvería por sí mismo los problemas de medición del tiempo y longitud y que añadiría otros igualmente enojosos, como el de establecer un estándar internacional de longitud, así que en 1673 propuso que la unidad internacional fuera la longitud de un péndulo de segundos (un péndulo cuyo periodo es exactamente de dos segundos).[13] La longitud del péndulo de segundos se determinó experimentalmente ajustando un péndulo de modo que oscilara 24 × 60 × 30 veces en un día sideral (cada oscilación tarda 2 segundos), es decir, entre los tránsitos consecutivos de una estrella fija a través del centro de un lente de telescopio graduado (el día sideral es ligeramente más largo que el solar).

Suena como una tarea imponente, pero no era tan abrumadora. Huygens y otros sabían que la longitud de un péndulo *l* variaba con el cuadrado del periodo, o T^2. Así pues, la longitud de un péndulo de segundos es la longitud de cualquier péndulo arbitrario como $1/T^2$. Sin embargo, $(1/T^2)$ α n^2, donde *n* es el número de oscilaciones de un péndulo en una hora. Como observa Meli, “por lo tanto, al contar el número de oscilaciones y la longitud de su péndulo, Huygens podía determinar la longitud del péndulo de segundos” (Meli, 2006, p. 205).

Tener una unidad internacional de medida, o incluso una nacional, fue una contribución importantísima para simplificar el caótico estado de las medidas que prevalecía tanto en ciencia como en la vida diaria. En Francia, como en otros países, la unidad de longitud variaba según lo que se midiera (madera o tela), de ciudad en ciudad e incluso dentro de una misma ciudad. Era un grave problema para el comercio, los oficios, la construcción, la tecnología y el herramental bélico, por no hablar de la ciencia. Se habían hecho muchos intentos por simplificar y unificar el desordenado sistema francés. Según un cálculo, sólo en Francia existían 250 000 medidas locales diferentes de longitud, peso y volumen (Alder, 1995, p. 43), y en cada Estado europeo imperaba una abundancia igualmente confusa, como por supuesto ocurría también en todas las demás naciones y culturas.

En las fórmulas estándar, usando aproximaciones estándar para *g* y π, es fácil demostrar que la longitud de un péndulo de segundos será de 1 metro.

$T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$

Así que $T^2 = 4\pi^2(l/g)$

Y $l = T^2g/4\pi^2$

Si sustituimos $T = 2s$ (la ida y la vuelta duran un segundo cada una),

$g = 9.8\ ms^{-2}$, $\pi^2 = 9.8$

Entonces $l = 0.993577$ m, o muy aproximadamente 1 metro.

Este resultado puede demostrarse en forma confiable hasta con el más rústico péndulo de 1 m; no hace falta más que una tuerca pesada amarrada a un trozo de cuerda: diez oscilaciones completas tomarán 20 segundos y 20 oscilaciones, 40 segundos. Una gran virtud del péndulo de segundos como unidad internacional de medida era su calidad de estándar completamente "natural"; era fijo por naturaleza, a diferencia de estándares basados en la longitud del brazo o el pie de un rey. Y, por supuesto, un estándar internacional de longitud daría origen a un estándar de volumen relacionado y, finalmente, a un estándar de masas cuando la unidad de volumen se llenara con agua de lluvia. Un kilogramo es el peso de un litro (1 000 cc) de agua. Todo esto puede reproducirse de manera muy atractiva con los alumnos: puede desafiárselos a pensar de qué formas un estándar de masa puede derivarse a partir de un estándar de longitud.

No es accidental que, 200 años después de Huygens, el encuentro de la Conferencia General de Pesas y Medidas en París definiera el metro estándar universal como "la distancia que recorre la luz en el vacío en un intervalo de 1/299 792 458 de segundo".[14] Esta cifra, que puede parecer tan extraña y arbitraria, sólo tiene una diferencia de un milímetro del estándar original, totalmente natural, de Huygens, y se eligió precisamente porque permitía replicar la longitud del péndulo de segundos. Desafortunadamente es la primera, y no la última, que los estudiantes se encuentran en las primeras páginas de sus libros de texto, lo que confirma nuestros peores miedos sobre la "extrañeza" de la ciencia. En la definición de los estándares la ciencia arranca con malas prácticas pedagógicas.

La propuesta de Huygens dependía de que *g* fuera constante en todo el mundo (al menos a nivel del mar); también dependía de que la Tierra fuera esférica. Esta suposición parecía de lo más razonable; de hecho, afirmar que la Tierra no era regular y esférica equivalía a calumniar al Creador: por supuesto que Dios Todopoderoso jamás haría una Tierra deforme. Pero en 1673, contra todas las expectativas, este supuesto debió ser cuestionado a causa del comportamiento del péndulo.

Cuando Jean-Dominique Cassini (1625-1712) se convirtió en director de la Académie Royal des Science en 1669, envío expediciones a distintas partes del mundo para que se observaran las longitudes del lugar con el objetivo de perfeccionar la geografía y la navegación. El segundo de estos viajes fue el que emprendió Jean Richer a Cayena entre 1672 y 1673 (Olmsted, 1942). Cayena está en la Guayana Francesa, en una latitud aproximada de 5° N. Se eligió como sede de observaciones astronómicas porque las observaciones ecuatoriales se veían mínimamente afectadas por la refracción de la luz al pasar por la atmósfera de la Tierra: el observador, el Sol y los planetas se encontraban todos en el mismo plano.

El propósito principal del viaje de Richer era determinar el valor del paralaje solar y corregir las tablas de refracción que usaban los navegantes y los astrónomos. Un segundo objetivo era confirmar que los relojes marinos de péndulo de Huygens, que se llevaban con el propósito de establecer la longitud exacta de Cayena, fueran confiables. Richer hizo un descubrimiento sorprendente: un péndulo, calibrado para oscilar en segundos en París, debía acortarse para que hiciera lo mismo en Cayena. No mucho —unos 2.8 mm, aproximadamente el grosor de un cerillo—, pero sin duda era más corto. Richer encontró que un reloj de segundos parisino perdía 2.5 minutos diarios en Cayena; entre un medio día y el siguiente transcurrían 23 horas, 57 minutos y 32 segundos. La única explicación aparente para la ralentización del péndulo en el ecuador es que *g* es menor allí que en París y en los polos; en otras palabras, que la Tierra es una esfera "achatada", una figura oblada, con el ecuador más lejos del centro y por lo tanto con menos atracción gravitacional que los polos. Más adelante profundizaremos en las lecciones metodológicas de este episodio.[15]

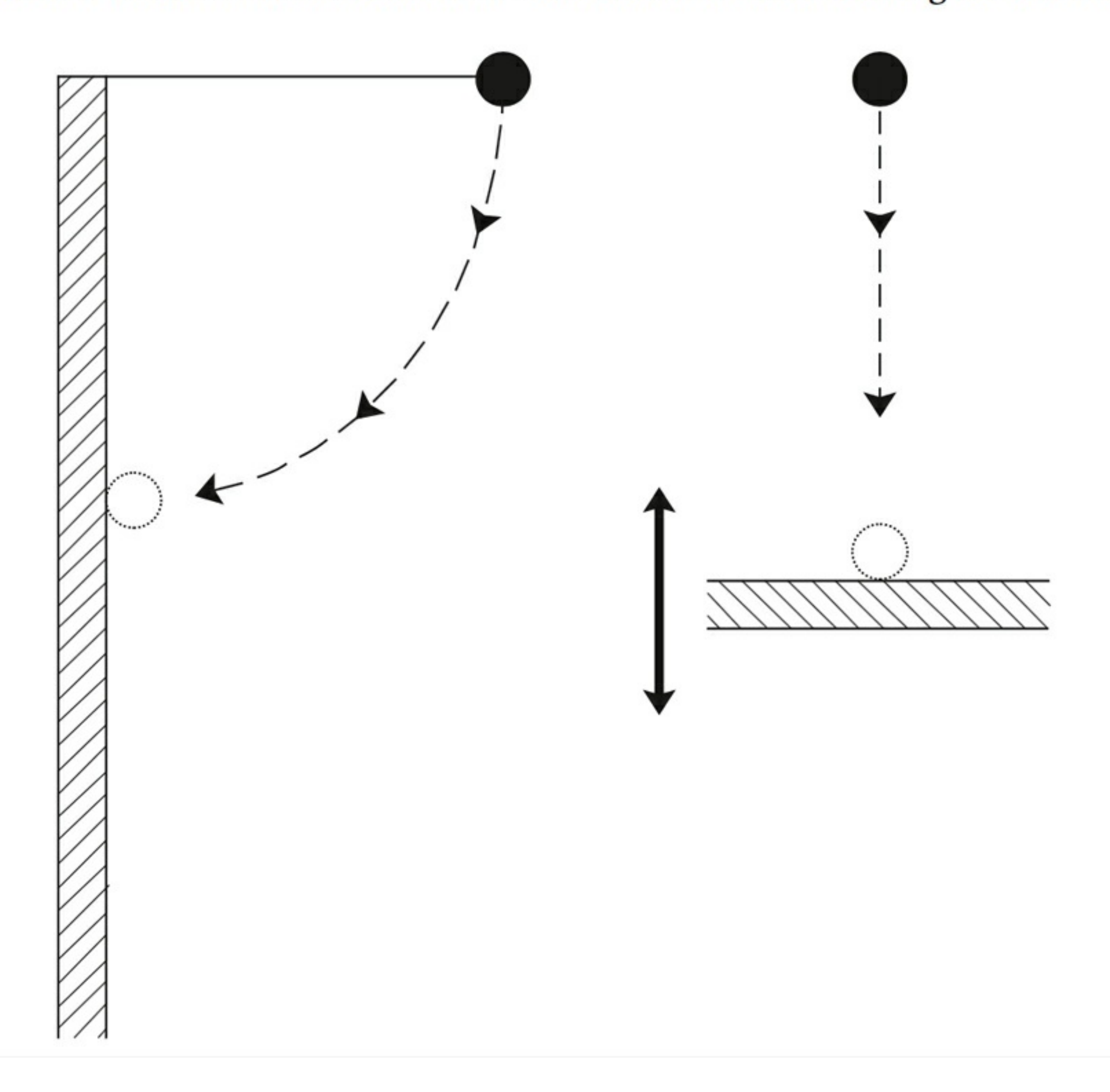
Para Newton, el péndulo desempeñó un papel comparable al que tuvo para el trabajo de Galileo y de Huygens. Newton usó el péndulo para determinar la constante gravitacional *g* para mejorar la medición del tiempo, para refutar la existencia del éter (cuya existencia suponían los filósofos mecánicos), para demostrar la proporcionalidad de la masa y el peso, para determinar el coeficiente de elasticidad de los cuerpos, para investigar las leyes del impacto, y para determinar la velocidad del sonido. Richard Westfall, un distinguido académico newtoniano, escribió: "el péndulo se convirtió en el instrumento más importante de la ciencia del siglo XVII [...] Sin él, el siglo XVII no habría dado luz al mundo de lo preciso" (Westfall, 1990, p. 67). Sobre el papel del péndulo en la ciencia de Newton, Westfall dice que "No es exagerado afirmar que sin el péndulo no habrían existido los *Principia*" (Westfall, 1990, p. 82). ¡No es cualquier cosa!

La determinación de la constante gravitacional

Marin Mersenne (1588-1648) usó el péndulo circular de Galileo y sus fundamentos teóricos para determinar el valor de la constante gravitacional *g*. Ni Galileo ni otros científicos del siglo XVII emplearon la idea de *g* en su sentido moderno, de aceleración. La constante gravitacional era la distancia que todos los cuerpos caen en los primeros segundos tras ser liberados, es decir, en términos numéricos, la mitad de la constante moderna de aceleración.

Las primeras investigaciones de Mersenne apuntaban a que el péndulo de segundos medía 3 pies parisienses, así que en un famoso experimento (de 1647) fijó un péndulo horológico de 3 pies (≈ 99 cm) (un péndulo de segundos) a una pared y lo soltó en forma simultánea a una masa en caída libre (véase la figura VI.10). Ajustó la plataforma bajo la mesa hasta que sólo escuchó un sonido (el péndulo al golpear la pared y la masa al caer simultáneamente sobre la plataforma). Razonó que esto debía darle la longitud de la caída libre en medio segundo (la mitad de una oscilación completa del péndulo, que tomaría 1 segundo), y de este modo, por la regla del cuadrado (cuatro veces la longitud así determinada), podría calcular la longitud de la caída libre en un segundo, la constante gravitacional del periodo.

Figura vi.10. *La determinación de Mersenne de la constante gravitacional*



Huygens y Mersenne pensaban que el oído no podía distinguir sonidos a menos de unos 15 cm de caída libre, de modo que la imprecisión estaría "interconstruida" en la mecánica.[16] Todos ellos se dieron cuenta de que el péndulo de segundos era la única forma de obtener la duración de 1 segundo; esto sería clave para medir la constante gravitacional, la longitud que recorría un cuerpo durante el primer segundo de caída libre.

La demostración de las leyes de Newton

Estas propiedades hicieron del péndulo un vehículo ideal para demostrar las leyes de Newton y para investigar las colisiones: los péndulos de la misma longitud alcanzan su nadir al mismo tiempo, sin importar desde dónde se liberen; alcanzan el nadir en forma simultánea sin importar su masa, y su velocidad en el nadir es proporcional a la longitud

de la cuerda que une el nadir con el punto de liberación. Además, pueden delimitarse los recorridos de los cuerpos que chocan. Newton montó experimentos de colisión con péndulos para demostrar sus leyes del movimiento y para explicar su reciente ley de la conservación. Concluyó una de sus demostraciones escribiendo que: “Por el encuentro y colisión de los cuerpos jamás se altera la cantidad de movimiento, obtenida por la suma de los movimientos concurrentes o por la diferencia de los contrarios” (Newton, 1729/1934, pp. 22-24) [Newton, ed. de Antonio Escohotado, Madrid, Editora Nacional, 1982, p. 249.]

Newton no llama a esto conservación del momento. Él habla de conservación del “movimiento”, pero es el momento moderno, *mv,* una cantidad vectorial, lo que describe. En la terminología actual su conclusión está dada por la fórmula:

$$m_1v_1 + m_2v_1 = m_1v_2 + m_2v_2$$

Aquí el péndulo hizo una contribución muy importante a la fundación de la mecánica clásica. La ley de la conservación del momento era cierta tanto para las colisiones elásticas (donde no se absorbe energía en la colisión misma) como para las inelásticas (donde se absorbe energía). Por ejemplo, si los péndulos del caso anterior estuvieran hechos de masilla, se deformarían al chocar y se detendrían sin más; no habría movimiento tras la colisión. En esta situación difícilmente podríamos hablar de conservación del “movimiento”, aunque Descartes, por ejemplo, mantuvo resueltamente que la cantidad *mv* era la medida básica del “movimiento”, y *mv* era la entidad básica que se conservaba en el mundo. Una estrategia de protección teórica era afirmar que, si bien cesó el movimiento general (las bolas de masilla), el movimiento de los corpúsculos invisibles de la cosmovisión mecánica no se detuvieron; por el contrario, se activaron.

Newton demostró su tercera ley, “acción es igual a reacción”, empleando dos péndulos largos (3-4 m) y haciendo que chocaran. Usó un resultado de Galileo (que la velocidad de un péndulo en su punto más bajo es proporcional a la cuerda de su arco) y lo aplicó a la colisión al comparar las cantidades de masa multiplicadas por la longitud de la cuerda antes y después de la colisión (Gauld, 1998). Durante siglos, la “cuna” de Newton, que encarna maravillosamente bien su ley de la conservación, ha intrigado a estudiantes y a ciudadanos por igual (Gauld, 2006).

La unificación de la mecánica terrestre y celeste

La pregunta más importante para Newton y los filósofos naturales era si las fuerzas de atracción entre dos cuerpos, que Newton había postulado, eran realmente universales: es decir, ¿no sólo actuaban sobre los cuerpos de la Tierra sino también sobre los del sistema

solar? Aristóteles, como todos los filósofos de la Antigüedad, distinguía claramente entre los reinos celeste y terrestre (sublunar): el primero era eterno, inmutable y perfecto, el reino de los dioses; el segundo era mutable, imperfecto y corruptible, el reino del hombre. Así pues, era "natural" que la ciencia de ambos reinos fuera distinta y, por decirlo en forma anacrónica, las leyes que se aplican al reino terrestre no serían válidas en el reino celeste. Esta división cósmica duró 2 000 años.

El análisis del movimiento del péndulo fue lo que volvió insostenible la división celeste-terrestre y permitió pasar "del mundo cerrado al universo infinito" (Koyré, 1957). Las mismas leyes que gobiernan el péndulo se extendieron a la Luna y luego a los planetas. En física se disolvió la secular distinción entre lo celeste y lo terrestre. Se había visto que en el cielo y en la Tierra se aplicaban las mismas leyes: sólo existía un universo, un solo sistema solar.

A los 22 años de edad, mientras se refugiaba en Lincolnshire para evitar la Gran Peste de Londres, Newton comenzó a especular que la órbita de la Luna y la caída de una manzana podrían tener una misma causa (Herivel, 1965, pp. 65-69). Pudo calcular que, en 1 segundo, mientras viaja aproximadamente 1 kilómetro sobre su órbita, la Luna se desvía de una línea recta cerca de 1/20 de pulgada (unos 12 milímetros). En el mismo periodo, un objeto que se lanzara horizontalmente en la Tierra caería unos 16 pies (4.8 metros). La tasa entre la "caída" de la Luna y la de la manzana es, entonces, cerca de 1:3 700. Esta cifra era muy cercana a la razón entre el cuadrado de la distancia de la manzana al centro de la Tierra (el radio de la Tierra) y el cuadrado de la distancia de la Luna al centro de la Tierra, 1:3 600. ¿Se trataba de una coincidencia cósmica? ¿O la atracción gravitacional de la Tierra actuaba igualmente sobre la manzana y a la Luna?

Siguiendo los dictados de su propio método, Newton investigó entonces, en forma experimental, si las consecuencias derivadas pueden verse en la realidad. Decidió adherirse a la medición experimental de Huygens:

> Y, de hecho, podemos comprobar que los cuerpos descienden realmente en la Tierra con esta misma fuerza, pues un péndulo que oscile al segundo en la latitud de París tendrá una longitud de 3 pies de París y 8 líneas 1/2, como ha observados Mr. Huygens. Y el espacio que un cuerpo pesado describe cayendo durante un segundo de tiempo es a la mitad de la longitud de este péndulo como el cuadrado de la razón de la circunferencia de un círculo a su diámetro (como también ha expuesto Mr. Huygens) y, en consecuencia, 15 pies de París, 1 pulgada, 1 línea 7/9. En consecuencia, la fuerza por la que la Luna es retenida en su órbita es, en la misma superficie de la Tierra, igual a la fuerza de gravedad que observamos aquí en los cuerpos pesados [Newton, 1729/1934, p. 408] [Newton, ed. de Antonio Escohotado, Madrid, Editora Nacional, 1982, p. 670.]

Newton llega entonces a esta conclusión: "En consecuencia, la fuerza por la que la Luna es retenida en su órbita es precisamente la misma fuerza que comúnmente llamamos gravedad". El péndulo nos trajo el cielo a la Tierra.[17]

A partir del siglo XVI, cuando los comerciantes y los exploradores empezaron a alejarse de las costas de Europa, los problemas de navegación y de determinación de posiciones, en particular la determinación de la longitud, se volvieron más agudos. Los marineros chinos y polinesios tenían el mismo problema. Gemma Frisius (1508-1555) pudo identificar que la medición precisa del tiempo era la forma de resolver el problema de la longitud. En 1530 aconsejó:

> En nuestra época hemos visto la aparición de varios relojes pequeños, de construcción competente, que, por sus modestas dimensiones, no le representan problemas a aquellos que viajan. Estos relojes funcionan por 24 horas; de hecho, cuando resulta conveniente siguen funcionando con un movimiento perpetuo. Y es con su ayuda que puede encontrarse la longitud […] Cuando uno se encuentra en rumbo por 25 o 30 kilómetros, y desea saber qué tan distante se encuentra de su punto de partida, sería preferible esperar a que el reloj estuviera en una división exacta de tiempo, y en el mismo momento, con la ayuda del astrolabio, así como de nuestro globo terráqueo, buscar la hora del lugar en el que nos encontramos […] De este modo es posible hallar la longitud, incluso a una distancia de 1 600 kilómetros, incluso sin saber por dónde hemos pasado ni qué distancia hemos recorrido [Pogo, 1935, p. 470].

Frisius entendió que la Tierra hace una revolución de 360° en 24 horas, y por lo tanto, en una hora gira 15°, o bien 1° cada 4 minutos. Así, si bien la línea de longitud cero es arbitraria, existe una relación objetiva entre el tiempo y la longitud. Sin embargo, la solución teórica se encontraba muy por delante de la tecnología y la habilidad de los relojeros del siglo XVI. El péndulo desempeñaría un papel central en la solución de este urgente problema.[18]

Casi todos los grandes científicos del siglo XVII —incluidos Galileo, Huygens, Newton y Hooke— trabajaron muy de cerca con relojeros y usaron sus análisis del movimiento del péndulo, en específico el isocronismo, para crear relojes de péndulo más precisos y luego relojes portátiles, especialmente el cronómetro marino, con el propósito de determinar con precisión la longitud. Dava Sobel (1995) ofrece en su libro —que se convirtió en éxito de ventas— una narración muy agradable de leer sobre los esfuerzos británicos por resolver el problema de la longitud. Lamentablemente sólo una fracción de los cientos de miles de lectores del libro, que ha sido traducido a 20 idiomas, habrán sido capaces de relacionar la historia de la longitud con lo que estudiaron sobre el péndulo en las clases de ciencia en la escuela, porque la longitud y el péndulo jamás se mencionaron juntos, y Sobel omite por completo los cruciales problemas metodológicos que se encuentran en el núcleo de los descubrimientos de Galileo. Resulta decepcionante que repita el mito del candelabro al referirse a Galileo y la medición del tiempo (Sobel, 1995, p. 37).

Huygens estaba consciente del papel que desempeñaba el reloj para resolver el problema de la longitud; sostenía que "son especialmente apropiados para las

observaciones celestes y para que los navegantes midan las longitudes de diversas posiciones" (Huygens, 1673/1986, p. 8). En 1664, el capitán Robert Holmes le aplicó a los relojes las más minuciosas pruebas en alta mar, que corroboraron la fe de Huygens en su habilidad para resolver el problema de la longitud. Resulta irónico que Holmes estuviera embarcado en un viaje transatlántico de saqueo a las posesiones holandesas en África, Nueva Ámsterdam (Nueva York) y América del Sur. En su *Horologium oscillatorium,* Huygens repite el relato de Holmes de la fracción científica de su viaje.

El artesano que pudo resolver los problemas técnicos de construir un cronómetro marino preciso y confiable fue John Harrison (1693-1776). "Longitud Harrison", como se le conocía, nació en 1693, hijo de un carpintero de Yorkshire, y murió, ya un famoso relojero, en Londres en 1776. Harrison murió tres años después de recibir la última parte de la recompensa de 20 000 libras que establecía la Ley de Longitud de 1714 y que le pagó, con reticencia, el Consejo Británico de Longitud. El premio requería que se lograra la inaudita precisión de 2 minutos durante el viaje de 8 o 10 semanas a las Indias Occidentales. El reloj de Harrison se mantuvo a 30 segundos del tiempo correcto durante el viaje de ida y vuelta a las Indias. Tras esta hazaña, pudieron cartografiarse con precisión los rincones más alejados del globo y todas las islas y arrecifes en el camino, y el comercio, la colonización y la conquista europeas pudieron ocurrir a gran velocidad. Para los alumnos, puede ser de gran provecho involucrarse con todos los aspectos de esta maravillosa odisea, con la que aprenderán astronomía, física, navegación e historia (Bensky, 2010).

El péndulo proporcionó la primera "prueba" tangible y dinámica de la rotación de la Tierra. En la teoría de Newton, un péndulo que se hiciera oscilar sobre un plano determinado debería seguir haciéndolo de manera indefinida sobre ese mismo plano; las únicas fuerzas que actuarían sobre el balanceo serían la tensión de la cuerda y su peso dirigido hacia abajo en forma vertical. Léon Foucault (1819-1868) —a quien describieron como "un alumno mediocre en la escuela [pero] un físico nato y un experimentalista incomparable" (Dugas, 1988, p. 380)— "vio" que si se colocara un péndulo exactamente en el Polo Norte y se suspendiera de modo tal que el punto de suspensión estuviera libre de girar (es decir, no aplicara torque al péndulo y limitara así su movimiento), entonces: "Si las oscilaciones pueden seguir por 24 horas, en este tiempo el plano ejecutará una revolución completa sobre la vertical a través del punto de suspensión […] en el polo el experimento debe ocurrir en toda su pureza" (Dugas, 1988, p. 380).

Foucault demostró fácilmente que al mover el péndulo desde el polo hacia el ecuador, si T^1 es el tiempo que le toma al plano del péndulo rotar 360°, y T es el periodo de rotación de la Tierra, y ß es la latitud en la que se lleva a cabo el experimento, entonces:

$$T^1 = T/\text{sen}ß$$

A partir de esta fórmula, es posible ver que, en los polos, $T^1 = T$ (pues el senß = sen 90° = 1), mientras que en el ecuador, $T^1 = \infty$ (o infinito, puesto que el sen 0° = 0), y así, no hay rotación del plano u oscilación en el ecuador.

El 2 de febrero de 1851, Foucault invitó a la comunidad científica francesa a "venir a ver la Tierra girar, mañana, de tres a cinco, en el Salón Meridian del Observatorio de París". El largo y pesado péndulo de Foucault proporcionó una "prueba" experimental de la teoría copernicana, algo que no habían encontrado ni Galileo ni Newton ni las otras luminarias científicas que habían tratado de hallarla (Azcel, 2003, 2004; Tobin, 2003).

Hasta la demostración de Foucault, todas las observaciones astronómicas podían acomodarse, con los ajustes adecuados, como los que había hecho Tycho Brahe, a la teoría de la Tierra estacionaria de la tradición cristiana. La Iglesia católica había explotado la "legitimidad" de estos ajustes *ad hoc* para preservar el modelo geocéntrico; la Iglesia mantuvo las obras de Copérnico y de Galileo en el *Índice de libros prohibidos* hasta el año de 1835 (Fantoli, 1994, p. 473). Para la mayor parte de los científicos del siglo XIX, la rotación manifiesta del péndulo de Foucault, evidente cuanto éste derribó sucesivamente los marcadores colocados en círculo a su alrededor, era una prueba dramática de la rotación de la Tierra.

Como se mencionó en el capítulo I, y se retomará en el capítulo XI, el método que sigue este libro, y su mensaje para los maestros de ciencia, es el de hacer explícitas diferentes características de la ciencia, en particular las filosóficas, cuando se enseñan los contenidos de los planes de estudio. Cuando se trata de manera histórica, el péndulo ofrece una rica fuente de lecciones sobre la ciencia. Galileo es un ejemplo notable del científico-filósofo o el científico filosófico (para usar la terminología actual). Hizo contribuciones filosóficas muy importantes en diversas áreas: en la ontología, con su distinción de las cualidades primarias y secundarias; en epistemología, tanto con su crítica de la autoridad como árbitro de las afirmaciones de conocimiento como con su subordinación de la evidencia sensorial al razonamiento matemáticos, y en metafísica, con su crítica de las categorías causales aristotélicas y su rechazo de la teleología como principio de explicación.[19] Desafortunadamente, a pesar de sus importantes contribuciones a la filosofía y a que muchos filósofos del siglo XVII y otros posteriores, como Kant y Husserl, reconocieron la influencia que ejerció sobre ellos, Galileo no figura, y si acaso lo hace es brevemente, en la mayor parte de la historia de la filosofía. Sus logros filosóficos, por supuesto, son totalmente ignorados en los textos de ciencia. Sin embargo, la enseñanza de la ciencia con base en la historia y la filosofía puede rectificar esta lamentable omisión.

Los maestros bien preparados deberían estar conscientes asimismo de los obstáculos que deben superarse al derivar lecciones filosóficas de la vida de Galileo; estos obstáculos son equivalentes a los que enfrenta quien deduce lecciones teológicas o filosóficas de la vida de Jesús (o cualquier otra figura religiosa importante). Albert Schweitzer, en su monumental obra *The Quest of the Historical Jesus* [La búsqueda del Jesús histórico] (Schweitzer, 1910/1954) observó con agudeza que: "Así, la teología de cada época encontró, sucesivamente, sus propias ideas en Jesús; de hecho, ésa era la única manera en la que podían hacerlo vivir. Pero no fue cada época la única que encontró su reflejo en Jesús; cada individuó lo creó de acuerdo con su propio carácter" (Schweitzer, 1910/1954, p. 4).

La lección de Schweitzer es no evitar las lecciones que nos enseñan los personajes históricos y sus obras sino reflexionar cuidadosamente sobre ellas: no deben tratarse como si fueran una prueba de Rorschach.[20] Con esta advertencia en mente, a continuación se mencionan algunas de las características de la ciencia que pueden ponerse de relieve al enseñar así sobre el péndulo.

Metodología científica

La historia del movimiento del péndulo demuestra las limitaciones tanto del inductivismo como del falsacionismo como discursos sobre el método científico. En lo que se refiere al inductivismo, resulta evidente que Galileo no indujo sus “maravillosas propiedades” o leyes del movimiento del péndulo mediante la observación de diversos péndulos —pelotas y aros, candelabros, columpios, reguladores mecánicos, pesas de corcho y de hierro suspendidas de cuerdas, etc.— para luego hacer una afirmación universal a partir de lo que vio en casos particulares. Un entusiasta del inductivismo ha comentado que:

> Para él [Galileo], los hechos basados en éstas [las observaciones] fueron tratados como hechos, y no en relación con una idea preconcebida […] Los hechos observacionales pueden entrar o no en el esquema aceptado del universo, pero lo importante, en la opinión de Galileo, era aceptar los hechos y construir la teoría alrededor de ellos [H. D. Anthony en Chalmers, 1976/2013, p. 2].

Ésta era, por el contrario, la metodología de los aristotélicos, para quienes los hechos de la experiencia eran los puntos de partida de la ciencia y que instaron a Galileo, sin éxito, a mantenerse fiel a los hechos; también era la metodología de Descartes, quien llegó a la conclusión de que, puesto que los hechos eran tan confusos y erráticos, no era posible una ciencia del movimiento del péndulo. Lo que se observaba en el mundo era importante, pero no tenía la relevancia que los inductivistas le atribuían. I. E. Drabkin lo reconoce en forma atinada; dijo sobre la mecánica aristotélica que “no la frenaba la observación insuficiente o la especulación excesiva, sino un apego demasiado cercano a los datos de la observación […] un apego tan íntimo a los fenómenos de la naturaleza que les impedía realizar a partir de ellos abstracciones de los casos ideales” (Drabkin, 1938, pp. 69, 82).

Al falsacionismo, la idea de que la esencia de la ciencia es rechazar las teorías que los hechos contradicen, que es la postura metodológica asociada con Karl Popper, no le va mucho mejor que al inductivismo cuando debe vérselas con el ejemplo del péndulo. El inductivismo y el falsacionismo son dos lados de la misma moneda empírica, por lo que es de esperarse que donde la primera no tiene éxito la segunda también fracase.

El tipo de situación que enfrentó Huygens —la revisión de una teoría a la luz de evidencias en contrario— se repite continuamente en el desarrollo de la ciencia. La afirmación de Richer, que el reloj de péndulo se ralentiza en las regiones ecuatoriales, sirve como un buen ejemplo para algunos asuntos metodológicos sobre la ciencia y la comprobación de teorías. Desde la época de Eratóstenes, en el siglo II a. C., la creencia más arraigada era que la Tierra era esférica (teoría *T*); así, en el supuesto de que la gravedad es lo único que afecta el periodo de un péndulo de longitud constante, la implicación observacional fue que tanto en París como en Cayena el péndulo de segundos de Huygens tendría el mismo periodo (*O*). Así, T implica *O*:

$$T \rightarrow O$$

Sin embargo, Richer encontró, al parecer, que el periodo en Cayena era más largo ($\sim O$). Así, desde una perspectiva simple, falsacionista, de la comprobación de teorías tal como la que enunció primero Huygens mismo, y que Karl Popper desarrolló a principios del siglo XX (Popper, 1934/1959), tenemos:

$$\mathrm{T} \rightarrow O$$

$$\sim O$$

$$\therefore \sim T$$

Pero la comprobación de teorías nunca es tan sencilla, un asunto que Popper reconoció y que articularon Thomas Kuhn (1970) e Imre Lakatos (1970). En el siglo XVII, varios defensores de *T* sencillamente negaron la segunda premisa, $\sim O$. El astrónomo Jean Picard, por ejemplo, no aceptó los hallazgos de Richer. En vez de aceptar el mensaje de que existían variaciones gravitatorias, dudó del mensajero. Por su parte, Huygens tampoco tenía en gran estima las habilidades de Richer como experimentalista, sobre todo porque el capitán había dejado caer y destruido uno de los relojes de Huygens.

Otros notaron que las teorías no contradecían la evidencia por sí mismas; en la comprobación de teorías siempre entraba en juego algún supuesto del tipo "si todo lo demás permanece igual"; había cláusulas *ceteris paribus* (*C*) que acompañaron la teoría hasta el experimento. Estas cláusulas típicamente incluían afirmaciones sobre la confiabilidad de los instrumentos, las capacidades del observador, el estado de cosas empírico que se asumía que existía, los artefactos teóricos y matemáticos que se usaron para derivar *O*, etc. Así:

$$\mathrm{T} \rightarrow O$$

$$\sim O$$

$$\therefore \sim T \text{ o } \sim C$$

Pronto comenzaron a llegar más y más evidencias de otros experimentadores, como sir Edmund Halley, que confirmaban las observaciones de Richer. Así, ~O quedó establecido como un hecho científico, por usar la terminología de Fleck (Fleck, 1935/1979), y los defensores de *T*, o la Tierra esférica, tuvieron que hacerse a la idea.

Las personas que creían en *T* decían, no sin razón, que los supuestos de la igualdad

de circunstancias eran erróneos. Se trataba, en principio, de argumentos legítimos. Nunca es fácil renunciar a teorías científicas establecidas, en particular si la teoría alternativa implicaba aceptar que la Tierra tenía una forma aplanada, bastante poco elegante para la creación de un dios todopoderoso y omnisciente. En *C* había diversos problemas evidentes que podían señalarse como la causa de la ralentización del péndulo:

- *C*1: El experimentador era incompetente.
- *C*2: La humedad de los trópicos había hecho que el péndulo fuera más lento, porque el aire era más denso.
- *C*3: El calor en los trópicos provocó que el péndulo se expandiera, y por lo tanto que oscilara más lentamente.
- *C*4: El entorno tropical provocó un aumento en la fricción de las partes móviles del reloj.

Cada uno de estos problemas podía explicar la ralentización y preservar así la teoría de la Tierra esférica. Sin embargo, cada uno se descartó progresivamente mediante experimentos mejor controlados y mejor realizados. Muchos, por supuesto, dirían que el ajuste equivalente al ancho de un cerillo (3 mm) en una longitud de 1 metro (1 000 mm) era tan diminuto que podía achacarse a un error experimental, o simplemente ignorarse. Si la teoría resultaba importante, ésta es una tendencia muy comprensible, pero para los científicos más rigurosos era evidente que debía rechazarse la teoría de la Tierra esférica, largamente aceptada y sancionada por la religión, a partir de esa persistente discrepancia de 3 mm.

Sin embargo, Huygens podía ver una explicación más sofisticada para la disminución de *g* en el ecuador y aún mantener *T*, la teoría de una Tierra esférica. Argumentó:

- *C*5: Los objetos en el ecuador giraban más rápido que en París, y por lo tanto la fuerza centrífuga en el ecuador era mayor; esto contrarrestaba la fuerza centrípeta de la gravedad, disminuyendo así la fuerza neta hacia abajo (la gravedad) en el ecuador y disminuyendo la velocidad de oscilación del péndulo, es decir, aumentando su periodo.

Esta última explicación para la ralentización de los péndulos ecuatoriales para conservar la teoría de la Tierra esférica resultaba bastante legítima, y pareció salvar la teoría. Muchos se habrían sentido satisfechos con este comodín y habrían seguido creyendo que la Tierra era esférica. Pero no Huygens. Él calculó la fuerza centrípeta real en el ecuador y, por lo tanto, su efecto sobre la atracción gravitacional.

En términos modernos, el cálculo es el siguiente. El objeto ecuatorial sigue una trayectoria circular que cubre un ángulo de 2π radianes al día (86 400 segundos). Así, la velocidad angular, ω, equivale a 2π /86 400 rad/s, o 7.3×10^{-5} rad/s. Puesto que el radio

de la Tierra es de aproximadamente 6.4×10^6 m, la aceleración centrípeta del objeto $a_c = \omega 2r \approx 0.034$ m/s^2. De modo que ésta es la magnitud en la que disminuía la aceleración gravitacional de los objetos ecuatoriales a causa de la rotación de la Tierra.[21] Se traducía en un acortamiento de 1.5 mm del péndulo de segundos, pero unos 1.5 mm aún así inexplicables. Es menos que el grueso de un cerillo, y sin embargo, por una discrepancia tan minúscula Huygens y Newton estaban dispuestos a abandonar la teoría de la Tierra esférica y a afirmar que la verdadera forma del planeta era una esfera aplanada. Para la nueva ciencia, cuantitativa, el mantra de "suficientemente cerca es suficientemente bueno" no podía mantenerse, algo que puede enseñársele a los alumnos a apreciar.

La confirmación de la teoría es, en efecto, un poco más complicada y la metafísica desempeña un papel. La situación es, pues, como sigue:

Si la teoría (*T*) y las condiciones (*C*) y el contexto metafísico (*M*) implican la observación (*O*). $T.C.M \rightarrow O$

Y si *O* no es el caso,

$\sim O$

Por lo tanto, *T* es falso, o *C* es falso, o *M* es falso

$\sim M \lor \sim T \lor \sim C$

Willard van Orman Quine, y antes que él Pierre Duhem, desarrollaron el aspecto metodológico de la confirmación de teorías que resulta tan evidente en el debate sobre la forma de la Tierra: "El conjunto de nuestros así llamados conocimientos o creencias, desde los asuntos más triviales de la geografía y la historia hasta las leyes más profundas de la física atómica o incluso la pura lógica matemática, son un entramado artificial que incide en la experiencia sólo a lo largo de las orillas" (Quine, 1951/1953, p. 43).

La controversia sobre la forma de la Tierra es un episodio maravilloso en la historia de la ciencia. Una buena historia pedagógica incluso puede convertirse en drama. Tiene todos los elementos: personajes poderosos e importantes, "don nadies", una controversia sobre un asunto de gran magnitud, matemáticas y cálculos serios, algo de religión y, finalmente, una toma de decisiones, con muchas oportunidades y razones para conservar el *statu quo*. Tristemente, sin embargo, este episodio se conoce poco y casi nunca se enseña. Si se le concede valor a la historia y a la filosofía, hay buenas razones para presentarle este relato a los alumnos, pero si el principio que guía la construcción de un plan de estudios de ciencia es que "resulte cotidiano, aplicable y de utilidad inmediata", es poco probable que llegue a las aulas.

Como dijo Noah Feinstein, un defensor de la postura "utilitarista": "[La teoría curricular utilitarista] parece sugerir que el plan de estudio debería ser privado de los contenidos canónicos que los alumnos difícilmente considerarán relevantes para sus vidas

cotidianas, tales como, por ejemplo, el de la forma de la Tierra” (Feinstein, 2011, p. 183).[22]

Objetos reales versus objetos teóricos

Una forma de concebir la revolución metodológica del siglo XVII es reconocer la diferencia entre objetos reales y estos objetos cuando se describen desde la perspectiva de una teoría científica. Por ejemplo, la teoría de la mecánica de Newton proporciona definiciones de conceptos clave: momento, aceleración, velocidad promedio, velocidad instantánea, peso, ímpetu, fuerza, masa infinitesimal, etc. Estos conceptos fueron elaboraciones teóricas que Newton alcanzó con esfuerzo y que empleó en su descripción del movimiento del péndulo. A comienzos de la revolución científica, dichos conceptos sólo se entendían vagamente, y fueron refinándose con el tiempo.

Considérese por ejemplo la aceleración, que Galileo definió primero —igual que todos sus predecesores en los 2 000 años de historia de la filosofía natural— como la tasa de aumento de la velocidad con respecto a la distancia recorrida, una definición bastante natural, dado que los cuerpos en aceleración aumentan su velocidad tanto a lo largo del tiempo como de la distancia y que el recorrido hecho era más fácil de medir y de experimentar mediante la vista y el tacto. En un caballo al galope se ven pasar los postes, no los segundos. La distancia podía medirse, y por lo tanto era apta para la representación y el análisis geométricos, pero el tiempo no era mesurable, y por lo tanto no dado a análisis geométricos precisos. Fue sólo cuando Galileo alcanzó la mediana edad que elaboró la definición moderna: la tasa de cambio de la velocidad con respecto al tiempo transcurrido. Para 1604, Galileo se había dado cuenta de que las distancias que recorre un cuerpo uniformemente acelerado (en caída libre) aumentan con el cuadrado del tiempo transcurrido. Sin embargo, en este momento, y por al menos seis años más, creyó que la velocidad aumentaba en proporción directa a la distancia recorrida. Las dos ideas, que también mantuvo Descartes, son incongruentes. En algún momento a partir de 1610, pasó a la definición moderna de aceleración e hizo congruentes sus ideas.[23] Treinta años más tarde se refirió a ello en la Jornada Tercera de sus *Consideraciones*, donde escribe: “llamo movimiento igualmente, o lo que es lo mismo, uniformemente acelerado a aquel que, partiendo del reposo, adquiere en tiempos iguales iguales incrementos de velocidad” (Galileo, 1638/ 1954, p. 162) [*Consideraciones*, p. 278].

Sin este cambio de definición no se habrían descubierto las leyes fundamentales de la caída libre. Buena parte de la vida escolar de los niños se pasaría esperando a que construyeran la definición moderna de aceleración, de modo que la mayor parte de los maestros suelen empezar las clases de mecánica proporcionándoselas. Ni siquiera los más

apasionados defensores del aprendizaje mediante el descubrimiento o de la enseñanza mínimamente guiada consideran la opción alternativa. Y sin embargo ambas opciones, y la narración histórica, recompensan sin duda la discusión y el análisis; los alumnos pueden apreciar la importancia fundamental del “descubrimiento” conceptual en ciencia. Sin embargo, como ocurre con tantas cosas, que se logre depende de cuánto sepan los maestros sobre la historia y la filosofía de la materia que están enseñando.

Si bien estos conceptos interrelacionados no estaban tan claramente definidos como lo estarían con Newton, formaban la estructura conceptual de la física de Galileo y permitían entender el significado de los términos clave. Éste es el “mundo de papel de Galileo”, como lo llamaba, o su sistema prototeórico. Se trata de un andamiaje científico indispensable para los niños, que debe transmitírseles de algún modo. Para los realistas también hay un mundo de objetos materiales y de otra clase que existe más allá de las teorías de Galileo. Podemos ver, en la práctica de Galileo, una importante capa intermedia entre la teoría y el mundo real: el reino de los objetos teóricos. Se trata de objetos naturales tal como los conciben y los describen los conceptos teóricos relevantes. Los planetas y las manzanas que caen tienen color, textura, superficies irregulares, calor, solidez y muchas otras propiedades y relaciones, pero cuando se convierten en objetos de la mecánica no son más que masas puntuales con aceleraciones específicas. Cuando se conceptualizan así dejan de ser objetos naturales y se convierten en objetos teóricos. De forma parecida, cuando los economistas hablan de manzanas se convierten en objetos teóricos de otra clase: mercancías con valores de cambio específicos. Cuando los botánicos piensan en manzanas piensan en otro tipo más de objeto teórico. Para Galileo una esfera de plomo en el extremo de una cuerda que se mece por el aire se convirtió, en su teoría mecánica, en un péndulo concebido como una masa puntual en el extremo de una cuerda ingrávida suspendida de un fulcro libre de fricción. Los objetos teóricos son creados o concebidos por científicos; a diferencia de lo que afirman muchos constructivistas y sociólogos del conocimiento científico, los objetos reales no se crean del mismo modo. No reconocer esta distinción provoca muchas confusiones filosóficas.

El experimento

A diferencia de los científicos medievales, que construyeron modelos matemáticos de sistemas físicos pero no fueron más allá, Galileo no se contentó con desarrollar un sistema de mecánica racional. Los objetos teóricos de Galileo eran medios para relacionarse con el mundo físico y trabajar en él. Para él, el objeto teórico proporcionaba un plano para interferir con el mundo material y, cuando hiciera falta, para hacerlo a imagen del teórico. Cuando Del Monte le dijo a Galileo que había realizado un experimento con bolas en un aro de hierro y que éstas no se comportaban como afirmaba

Galileo, éste respondió que el aro no debe haber estado lo suficientemente pulido, que las bolas no eran lo suficientemente esféricas, etc. Estas recomendaciones para mejorar el experimento tienen origen en el objeto teórico que Galileo ya había concebido; éste le dijo a Galileo lo que debía corregirse en el experimento. Sin el objeto teórico no habría sabido si lo que debía corregirse era el color de la bola, el material del aro o su diámetro, la masa de la bola, la hora del día o cualquiera otro entre cientos de factores más. Este aspecto de la obra de Galileo fue lo que llevó a Immanuel Kant a decir que, con Galileo, "todos los físicos [percibieron] una luz nueva", puesto que demostró que: "La razón no conoce más que lo que ella misma produce según su bosquejo […] Sólo así ha logrado la física entrar en el camino seguro de una ciencia, cuando durante tantos siglos no había sido más que un mero tanteo" (Kant, 1787/1933, p. 20) [*Crítica de la razón pura,* México, Porrúa, 1982, p. 13].

Galileo era un técnico y un experimentalista. Le destinó un gran esfuerzo a concebir, construir y difundir instrumentos técnicos novedosos. Fue responsable de crear el *pulsilogium,* la *bilancetta,* el *compasso di proporzione,* el *thermoscopium* y el *telescopio,* y dibujó planos viables del reloj de péndulo (Bedini, 1986). También midió y calculó las oscilaciones de los péndulos. Stillman Drake las ha desenterrado en los manuscritos galileanos en Florencia (Drake, 1990, cap. 1). Sin embargo, las medidas y los experimentos de Galileo tenían una dirección; medían comportamientos que ocurrían en circunstancias dictadas por sus conceptualizaciones teóricas. Además, como vimos en su debate con Del Monte, las conceptualizaciones teóricas le permitieron identificar desvíos "accidentales" del ideal. Una vez que el ideal estaba establecido, podían hacerse concesiones y refinar los experimentos. Como se ha subrayado antes, toda la historia de la mecánica clásica es un largo intento por obligar a la naturaleza a coincidir con la teoría newtoniana.[24]

Las leyes científicas

El discurso regularista de las leyes científicas ha sido popular desde el *Tratado de la naturaleza humana* de David Hume, de 1739, donde trató de refutar la visión determinista de las leyes. Para Hume, y los que lo siguieron, las leyes científicas describen relaciones constantes entre cosas observables; afirman lo que en general parece ser el caso. Las leyes del péndulo presentan un problema abrumador para el discurso humeano: estas regularidades no ocurren. Bajo condiciones experimentales muy refinadas —oscilaciones pequeñas, pesos grandes, muy poco aire y poca resistencia en el fulcro— casi suceden, pero "casi suceder" no es lo que buscan las descripciones regularistas. Además, fue el compromiso con la veracidad de las leyes que parecían haber sido refutadas lo que permitió que se diseñaran las condiciones aproximadas para la

aplicabilidad de la ley. Es decir, la veracidad de la ley es un supuesto para identificar aproximaciones a ella, y para identificar cuando un comportamiento debe considerarse "casi como el de la ley". Russell Hanson ha expresado bien este problema:

> Las grandes unificaciones de Newton, Clerk Maxwell, Einstein, Bohr y Schrödinger eran, fundamentalmente, descubrimientos de fórmulas concisas a partir de las cuales podían generarse descripciones y explicaciones de diversos fenómenos. No se trataba de descubrimientos de regularidades no detectadas hasta el momento [Hanson, 1959, p. 300].

Michael Scriven escribió una vez que "Lo más interesante sobre las leyes de la naturaleza es que sabemos que prácticamente todas son erróneas" (Scriven, 1961, p. 91). Nancy Cartwright, en *How the Laws of Physics Lie* [Cómo mienten las leyes de la física] (Cartwright, 1983), sostiene algo parecido: si las leyes de la física se interpretan como generalizaciones empíricas, o fenomenológicas, entonces las leyes mienten. Como afirma la autora sobre el tema: "Básicamente creo que las ecuaciones fundamentales no rigen los objetos en la realidad; sólo rigen los objetos en los modelos" (Cartwright, 1983, p. 129). El mundo no se comporta como dictan las ecuaciones fundamentales. Esta afirmación no es tan escandalosa: la suave y azarosa caída de las hojas en otoño obedece la ley de la atracción gravitacional, pero la distancia que recorren al caer no puede describirse por la ecuación $s = ut + ½at^2$. Esta ecuación se refiere a situaciones ideales. Una descripción completa, una afirmación fenomenológica, de la caída de la hoja otoñal sería imposiblemente compleja. La ley de la caída establece una idealización, pero una a la que podemos acercarnos experimentalmente. Estas leyes suelen estar acompañadas por una multitud de condiciones *ceteris paribus*, o "si todo lo demás permanece constante". [25] Para las leyes del movimiento del péndulo las condiciones *ceteris peribus* serían:

- la cuerda no tiene peso (así que no se frena el movimiento);
- la pesa no sufre la resistencia del aire;
- no hay fricción en el fulcro;
- toda la masa de la pesa está concentrada en un único punto;
- el péndulo se mueve en un plano y no experimenta ningún movimiento elíptico;
- la gravedad y la tensión son las únicas fuerzas que operan sobre ambas.

Sin embargo, sólo es posible acercarse a estas condiciones, nunca satisfacerlas, algo que Ronald Giere se ha cuidado bien en señalar (Giere, 1988, pp 76-78; 1999, cap. 5). Giere cree no sólo que las leyes científicas son falsas, sino que tampoco son universales ni necesarias (Giere, 1999, p. 90). Su descripción de las leyes del movimiento del péndulo está cerca de lo que se mencionó antes sobre la discusión sobre los objetos reales y teóricos en ciencia. Dice:

> En mi interpretación alternativa, la relación entre las ecuaciones y el mundo es indirecta […] las ecuaciones

> pueden usarse entonces para construir una amplia gama de sistemas mecánicos abstractos […] Yo llamo modelo a este sistema abstracto. Por definición, las ecuaciones del movimiento describen el comportamiento del modelo con una precisión perfecta. Podemos decir que el modelo es un ejemplo de las ecuaciones o, si lo deseamos, que las ecuaciones son ciertas, incluso necesarias, para el modelo [Giere, 1999, p. 92].

El objetivismo

Los análisis del movimiento del péndulo del siglo XVII respaldan las perspectivas objetivistas de la teoría científica y de la epistemología.[26] Estas perspectivas objetivistas son opuestas a todas las epistemologías empiristas y a las teorías de la metodología científica. A partir de Bacon, Locke y Berkeley en los siglos XVII y XVIII, y hasta Alfred Ayer en el XX, los empiristas han dominado las reflexiones filosóficas sobre la ciencia. Tanto *The Foundations of Empirical Knowledge* [Las bases del conocimiento empírico] (Ayer, 1955) como *The Problem of Knowlege* [El problema del conocimiento] (Ayer, 1956) de Ayer ofrecen descripciones quintaesencialmente empíricas de la epistemología. Ambas obras se ocupan del problema de la percepción, que es un indicador revelador de empirismo; a pesar de todo el alboroto y los problemas sobre el grado en el que la teoría dependía de la observación, el aspecto de las cosas no es de una gran importancia científica. Se ha dicho lo suficiente para indicar que concentrarse en la percepción, en detrimento de la experimentación y la teorización, provoca que se pierda de vista el impulso principal de la revolución científica. La tradición empirista mantiene lo siguiente:

1) Existe una distinción entre el conocimiento básico, observacional o intuitivo, y el conocimiento teórico.
2) El conocimiento básico, observacional o intuitivo no incluye la teoría.
3) El conocimiento básico, observacional o intuitivo está disponible o le es dado a los observadores o pensadores individuales (o conocedores o sujetos).
4) El conocimiento teórico se deriva de, o a fin de cuenta se justifica con referencia al, conocimiento básico, ateórico.

El racionalismo es el otro lado de la moneda empirista. Las epistemologías tanto empiristas como racionalistas son fundacionalistas: buscan fundamentos para el conocimiento en la experiencia del individuo, pero mientras la tradición empírica define la experiencia como la experiencia "exterior" de los sentidos, el racionalismo extiende la definición de experiencia para incluir las "interiores" de la mente o la razón individual. En ambas epistemologías la que resulta fundamental es la experiencia del conocedor. Una vez que este problema empirista se acepta, tanto en su aspecto empirista como racionalista, sólo hay un paso, muy corto y que se da con frecuencia, hacia el escepticismo y el relativismo. Es evidente que tanto la experiencia "exterior" como la

“interior” se ven afectadas por las circunstancias, idiomas, culturas, ideologías y teorías de los individuos. Se ha escrito mucho sobre la “dependencia de la teoría de la observación”, y cuando ésta se empareja con los supuestos empiristas sobre el conocimiento con frecuencia da origen a epistemologías relativistas o escépticas. Si la experiencia es la base del conocimiento, entonces tiene unos cimientos más bien inestables, y es fácil dudar de la solidez del edificio que descansa sobre ellos.

Una variante moderna y muy activa de este problema empirista es el constructivismo que, como detallaremos en el capítulo VIII, acepta la errónea trifecta epistemológica del individualismo, la experiencia e, inevitablemente, el escepticismo. Desde Aristóteles hasta el constructivismo moderno, con frecuencia se ha incurrido en el grave error de elevar la experiencia pasiva (ver y observar) a expensas de la intervención, la instrumentación y la medición, que permiten que el investigador entre en contacto con los procesos causales en el mundo y ponen límites a una subjetividad rorschachiana que de otro modo es imposible de delimitar.

Karl Popper señaló un rompimiento objetivista con el problema empirista en *The Logic of Scientific Discovery* [La lógica de la investigación científica], publicado en 1934, pero el argumento tuvo que esperar 40 años para ser completamente desarrollado en *Objective Knowledge,* donde escribió:

> La epistemología tradicional ha estudiado el conocimiento o el pensamiento en un sentido subjetivo: en el sentido del uso originario de las palabras “sé” o “estoy pensando”. Afirmo que esto ha conducido a los estudiantes de epistemología a problemas irrelevantes: si pretendían estudiar el conocimiento científico estudiaron, de hecho, algo que no tiene relevancia para el conocimiento científico. Porque el conocimiento científico sencillamente no es un conocimiento en el sentido del uso ordinario de la palabra “sé”. Mientras que el conocimiento en el sentido de “sé” le pertenece a lo que llamo el “segundo mundo”, el mundo de los sujetos, el conocimiento científico pertenece al tercer mundo, el mundo de las teorías objetivas, los problemas objetivos y los argumentos objetivos [Popper, 1972, p. 108].

La mayor parte de los objetivistas en la teoría del conocimiento comparten las convicciones de Popper de que, en primer lugar, el desarrollo del conocimiento científico es el tema central de la epistemología y, en segundo lugar, que el conocimiento es algo más que las creencias o los estados psicológicos; trasciende la conciencia individual. Popper describe “tres mundos”: el primero es el mundo de los objetos, los procesos y los acontecimientos (materiales y de otras clases); el segundo es el mundo de lo subjetivo, lo individual, las operaciones mentales (la vida mental o la conciencia privada), y el tercero es el de las teorías científicas y de otras clases, las concepciones y las situaciones problemáticas, que son parte de la cultura y que, si bien son creadas por las personas, existen en forma independiente de los acontecimientos del primer y segundo mundos.[27]

La tradición objetivista destaca, primero, en que existe una separación entre el discurso cognitivo o teórico y el mundo real. El mundo no es creado por el discurso

(como ocurre en el idealismo); no crea, de algún modo, el discurso (como ocurre en varias teorías de la reflexión o la impresión, desde Locke hasta Lenin), ni proporciona bases para el discurso (como en el empirismo y el positivismo). El discurso teórico y el mundo son mutuamente autónomos. En este sentido, la teoría existe en forma independiente de los individuos. Así, a diferencia de lo que afirman muchos constructivistas, el conocimiento científico es externo a los individuos.

En segundo lugar, la perspectiva objetivista distingue, dentro de la teoría, entre:

a) las bases conceptuales del discurso, que contienen las definiciones de los términos teóricos y observacionales (no se ha hecho una distinción definitiva entre estos tipos de términos);

b) la estructura conceptual de la teoría, que es la elaboración y la manipulación de los conceptos básicos mediante técnicas (matemáticas y lógicas) que producen la estructura de la teoría (los teoremas y proposiciones de Galileo);

c) los objetos teorizados de la teoría, que son los objetos en el mundo tal como son concebidos y descritos por la teoría: el equilibrio considerado una línea uniforme con pesos paralelos suspendidos de ella, el péndulo considerado una masa puntual que cuelga de una cuerda ingrávida, bolas de billar consideradas cuerpos incoloros y perfectamente duros, etcétera.

El objetivismo en educación

Que exista una segunda acepción de objetivismo es fuente de muchas confusiones, en particular en la bibliografía sobre enseñanza de la ciencia. Se trata del objetivismo en el sentido de "verdad objetiva", "universalismo" o "certeza en las convicciones". Este objetivismo es totalmente ortogonal al sentido popperiano (de hecho, Popper negó la posibilidad de que existan verdades absolutas). En la enseñanza de la ciencia, el objetivismo, además de tener todos estos matices absolutistas, se interpreta, de manera algo confusa, como una versión del positivismo. Dos pedagogos de la ciencia escriben que: "Actualmente la mayor parte de la enseñanza de la ciencia se basa en una perspectiva objetivista del conocimiento y el aprendizaje […] Aquí el objetivismo incorpora todas las teorías del conocimiento que afirman que el valor de verdad de las proposiciones puede probarse empíricamente en el mundo natural" (Roth y Roychoudhury, 1994, p. 6).

Popper rechaza por completo esta perspectiva. En el índice de *The Practice of Constructivism in Science Education* [La práctica del constructivismo en la enseñanza de la ciencia] de Kanneth Tobin (Tobin, 1993), la entrada de "objetivismo" dice: "véase positivismo". El positivismo es, desde luego, una postura filosófica que Popper pasó su vida combatiendo. Este "cruce de cables filosóficos" es un obstáculo grave para el

progreso académico en la enseñanza de la ciencia y para que ésta entable relaciones productivas con otras disciplinas: pierde mucho tiempo valioso atacando hombres de paja o disfrutando una euforia autocomplaciente al tiempo que ignora la bibliografía y los argumentos relevantes.

La observación

La observación es un elemento importante de la enseñanza de la ciencia, puesto que enseñarle a los niños a observar detenidamente es parte de todos los planes de estudio de ciencia. Hace ya algún tiempo que la pedagogía de la ciencia reconoce las dimensiones más filosóficas o problemáticas de la observación.[28] Recientemente el tema ha recibido una atención renovada, con la muy repetida afirmación del grupo de investigación Lederman de que el primer rasgo definitorio de la naturaleza de la ciencia es su "base empírica". Así exponen su propuesta: "Los alumnos deberían ser capaces de distinguir entre observación e inferencia […] Entender la distinción crucial entre observación e inferencia es indispensable para entender la multitud de entidades y términos inferenciales y teóricos que habitan los mundos de la ciencia" (Lederman *et al.,* 2002, p. 500).

Para lograr este objetivo, los maestros primero deben entender y apreciar la diferencia. La hipótesis de este libro es que la historia y la filosofía de la ciencia pueden contribuir a la enseñanza de la ciencia y a la formación de los maestros de ciencia al ayudarlos a entender de manera más precisa y profunda los muchos problemas teóricos, curriculares y pedagógicos que involucran a los maestros de ciencia. Esta hipótesis puede probarse desarrollando el tema de la observación.

La historia del péndulo es una buena oportunidad para presentar uno de los problemas básicos de este proceso de observación (incluidas visión, percepción, observación y atención) que vincula la psicología personal con la vida social del observador: la distinción entre "percepción objetual" y "percepción proposicional".

Galileo veía todo el tiempo cosas que los demás no; ni siquiera "el lince", Leonardo da Vinci, pudo ver lo que Galileo sí. Es evidente que en un sentido Leonardo sí podía ver lo mismo que Galileo, pero en otro sentido era incapaz de hacerlo. Ludwig Wittgensetin distinguió entre ver y ver como (Wittgenstein, 1958). Popper hizo la distinción en términos de percepción y observación. La percepción objetual ocurre siempre que unos ojos saludables pasan sobre situaciones más o menos bien iluminadas; ven lo que hay por ver. Entre las cosas que se ven, algunas se notan o se les presta atención. Sin embargo, este tipo de percepción objetual no tiene ninguna relevancia epistemológica o científica, y ni siquiera personal. La relevancia personal comienza cuando, entre las cosas que nota, la gente comienza a verbalizar lo que ve; surge así la percepción proposicional, donde la gente ve "que *p*", donde *p* es una proposición o afirmación. Esta percepción depende por

completo del lenguaje, la inclusión en la sociedad y la teoría que esté disponible. La proposición, *p,* tiene que verbalizarse o escribirse; requiere un lenguaje. Una persona mira hacia un campo y ve “que hay árboles”; ve, pero no nota, la cerca. Alguien ve una habitación llena de gente, pero sólo nota a la persona a la que quiere conocer.

Considérense las dos inscripciones en las figuras VI.11 y VI.12. Todos los que pasen sus ojos sobre ellas, desde los niños hasta los adultos, pueden obtener una percepción objetual de estas marcas, la noten o no.

FIGURA VI.11. *Carácter chino*



FIGURA VI.12. *Carácter japonés*



Una vez que se toma conciencia de las marcas puede comenzar a ocurrir la percepción proposicional. En el nivel menos sofisticado alguien puede ver “*que hay* marcas en el papel”; en el siguiente nivel, “*que hay* caracteres asiáticos en el papel”; en el que sigue “*que hay* un carácter chino en el papel”, mientras que alguien más verá “*que hay* un carácter japonés en el papel”; luego, “*que hay* caracteres tanto chinos como japoneses en el papel”, pero no sabrá qué significan; en un nivel más sofisticado alguien verá “que en el papel están escritos los caracteres chino y japonés para la palabra ALTO”, y, finalmente, una persona con más conocimientos podrá reconocer que cada carácter debe ser clasificado, para una traducción precisa, en la categoría ALTO, y no en la de PAUSA. El ascenso por estos niveles de percepción proposicional depende por completo de lo que sabe esa persona, de lo que hay en su mente, y de las habilidades lingüísticas del individuo. Todo esto debe ser enseñado o inculcado; de otro modo, no puede hablarse de percepción proposicional. Los niveles superiores son los que resultan relevantes para casi todo en la vida humana, incluidas la ciencia y la investigación científica.

Dos personas pueden tener la misma percepción proposicional “de *que hay* un hombre en la habitación”, pero una de ellas verá “*que* el primer ministro de Australia está en la habitación”; esta percepción proposicional requiere la capacidad de recuperar

conocimientos o información que está en la cabeza. Ver un tablero de ajedrez y notar "que la torre negra está siendo amenazada por la reina blanca" requiere que al observador se le hayan enseñado las reglas del juego. Por más que se observen las inscripciones anteriores, otras personas o las piezas de ajedrez, aunque se haga con mucho cuidado, nada revelará la palabra ALTO, el primer ministro de Australia o la torre amenazada; para ver estas cosas se necesita enseñanza, aprendizaje y la adquisición de un lenguaje sofisticado. Como comentó el filósofo británico del "lenguaje común", J. L. Austin (1911-1960), "usamos una conciencia más aguda de las palabras para agudizar nuestra percepción de los fenómenos, pero no como árbitro definitivo" (Austin, 1961, p. 130).

Para los alumnos, una conciencia más aguda de las palabras tiene que provenir del exterior, de su participación en una comunidad, y los maestros son conductos principales de esta participación. Dos alumnos razonablemente sofisticados pueden compartir la percepción proposicional "*de que* el cuerpo se mueve suavemente en un círculo"; sólo serán capaces de ver "*que* el cuerpo se está acelerando" si se les ha enseñado mecánica newtoniana básica, y sin duda no mediante una "lluvia de ideas" o una "negociación" sobre lo que ven. Del mismo modo, los alumnos pueden ver, como Aristóteles, "*que* el aire caliente sube al techo"; sólo gracias a la mecánica newtoniana básica verán "*que* el aire frío que baja empuja el aire caliente, menos pesado, hacia arriba". La primera descripción conduce a una mecánica de la *levitas;* la segunda a una mecánica de la *gravitas.* Así pues, las explicaciones dependen de la forma en la que se describen las cosas, de las percepciones proposicionales que tienen las personas. La explicación "los británicos invadieron Australia" es diferente de la explicación "los británicos descubrieron Australia". La respuesta "Veo *que* Juan exhibe desorden por déficit de atención" será diferente a "Veo *que* Juan exhibe el comportamiento de un mocoso maleducado". Es evidente que la percepción proposicional en política, moral y estética depende por completo del lenguaje, y que mientras "más agudo" sea el lenguaje disponible más agudas serán las observaciones. Por supuesto, el lenguaje es necesario, pero no suficiente, para la percepción proposicional.

La percepción proposicional no está muy relacionada con la percepción objetual. La primera siempre es inferencial. Dos personas que ven la misma cosa pueden notar que *están* ocurriendo cosas totalmente diferentes. En el Oriente Medio algunas personas ven *que* Estados Unidos está defendiendo los procesos democráticos, mientras que otros ven *que* Estados Unidos está defendiendo sus intereses estratégicos. Y así, *ad infinitum.* Hay que esforzarse por ver "los hechos del caso", que siempre serán un elemento de la percepción proposicional, del mismo modo que cada afirmación de hecho es una proposición, y el tema es ver qué tan lejos llega este acuerdo. Los empiristas británicos, y más recientemente los positivistas, pensaron que existían algunos postulados sensoriales

básicos que daban sustento a todas las variantes de la percepción proposicional sobre el mundo.[29] Por ejemplo, "Veo una mancha roja" o "Tengo la sensación de una mancha roja" es la base perceptual común de "Veo *que* hay un tomate", "Veo *que* hay una señal de alto", "Veo *que* hay sangre en el piso", etc. Tener la sensación de rojo es una percepción objetual; cuando se describe ocurre una percepción proposicional, y es inferencial.

Recuérdese que en el capítulo II se mencionó que el positivista Philipp Frank dijo que era un error que los libros de texto dijeran que en la mañana "vemos cómo el Sol sale por el horizonte". Afirmó: "De hecho, nuestra observación sensorial sólo muestra que en la mañana aumenta la distancia entre el horizonte y el Sol, pero no nos dice si el Sol asciende o el horizonte desciende" (Frank, 1947/1949, p. 231). El postulado de que "el Sol se está moviendo" es sólo *una* percepción proposicional basada en la percepción objetual que tenemos cuando vemos el Sol en la mañana.

Fue por razones como ésta que Platón dijo, hace 2 500 años, que "vemos mediante el ojo, no con el ojo", una afirmación que bien podría ser el inicio de la larga historia de la filosofía de la percepción.[30] De manera más reciente, la filosofía de la percepción se ha vinculado con la filosofía de la mente, la psicología cognitiva y la fenomenología. En 1934 Karl Popper advirtió, de manera premonitoria, contra confundir el lugar de la observación en ciencia: "La doctrina de que las ciencias empíricas pueden reducirse a las percepciones sensoriales, y por lo tanto a nuestras experiencias […] se rechaza aquí […] es posible que no se encuentre en epistemología otro problema que haya sufrido tan severamente la confusión entre psicología y lógica" (Popper, 1934/1959, p. 93).

Esto se escribió contra el compromiso de los primeros positivistas con las impresiones de los sentidos, los datos de los sentidos y otros supuestos fundamentos de la ciencia. En su artículo "The nature of scientific thought" [La naturaleza del pensamiento científico], Wallis Suchting ha comentado así estos temas:

> Así pues, la deficiencia *clave* del empirismo en realidad no tiene nada que ver con el papel central que le concede a la experiencia sensorial; en particular, la controversia sobre si el "lenguaje básico" de la ciencia debe ser "fenomenologista" o "fisicalista" resulta irrelevante para el problema principal, digamos que apenas una discusión familiar. La deficiencia central del empirismo es una que comparte con una amplia variedad de posturas diferentes, es decir todas aquellas que sostienen que los objetos mismos, *como sea que se conciban,* tienen significados epistémicos *en sí mismos,* que determinan inherentemente la "forma", por así decirlo, de su propia representación, en vez de determinar el grado de aplicabilidad de representaciones de una "forma" dada y, de este modo, por el contrario, que la naturaleza de lo que se representa puede "medir" su representación de forma más o menos *directa* [Suchting, 1995, p. 13].

Datos, fenómenos y teorías

Las consideraciones anteriores sobre la distinción entre los objetos reales y los teóricos,

la percepción objetual y proposicional, las idealizaciones y las descripciones no humeanas de las leyes apuntan hacia la importancia de distinguir los datos de los fenómenos, y ambos de la teoría. Los datos se observan, los fenómenos típicamente no. Las leyes y las teorías científicas tratan sobre fenómenos, no sobre datos.[31] Si se entiende esto se vuelven más claros varios aspectos de la ciencia, y en particular los estudios sobre el movimiento del péndulo.

Los objetos reales (los procesos, acontecimientos, casos, estados) se observan en ámbitos tanto naturales (los que prefería Aristóteles) como experimentales (los que preferían Galileo y Newton). La observación puede ser inmediata (con ojos, microscopios, etc.) o inferida (con lecturas de medidores, pantallas de instrumentos, etc.). Todo esto ocurre en el reino de lo real, no del discurso. Las observaciones luego se verbalizan, describen, anotan o tabulan. Esto tiene que hacerse en un lenguaje (incluidas las matemáticas) y desde alguna perspectiva teórica; todo esto ocurre en el plano del discurso. Estas descripciones típicamente se seleccionan y se clasifican; muchas lecturas y descripciones se ignoran o sencillamente se desechan. El resultado son datos científicos, ahora representaciones en bruto de objetos reales (procesos, acontecimientos, casos, estados). Es evidente que este paso es dependiente de la teoría. Una gama de manzanas rojas que caen, o de pesos que oscilan en el extremo de una cuerda, se representan en física como puntos en una gráfica, impresiones en un papel, líneas en un monitor. Estas representaciones no tienen la intención de reflejar, o copiar, lo real. Su objetivo es precisamente representar lo real. Y, como se mencionó antes, los economistas, artistas y granjeros tienen formas diferentes de representar el mismo conjunto de acontecimientos reales. Que esta representación resulte adecuada no significa que corresponda precisamente a lo que representa, como si reflejara el objeto en un espejo.

Para los péndulos, hasta los dispositivos experimentales más refinados arrojarán un enjambre disperso de puntos sobre una gráfica. Al graficar el periodo contra la longitud, esta dispersión es enorme; al graficar el periodo contra la raíz cuadrada de la longitud, la dispersión se contrae notablemente y se revela el fenómeno de la relación directa. Las leyes del movimiento del péndulo no pretenden, y no pueden, explicar estos datos específicos, de modo que se traza una línea para representar el fenómeno bajo investigación. Así pues, lo que se discute y debate es el fenómeno, no los datos. Cualquier cantidad de observaciones a través de un telescopio constituyen, tras ser corregidas y seleccionadas, datos astronómicos. A partir de ellos inferimos, construimos y hasta inventamos fenómenos planetarios: órbitas circulares, órbitas elípticas, órbitas heliocéntricas u órbitas geocéntricas. Estas últimas no pueden verse; no son observacionales y, sin embargo, no representan ningún impedimento científico. Una vez que nos concentramos en el fenómeno, se convierte en la materia de nuestras teorías

científicas. En el Libro II de los *Principia,* Newton, tras exponer sus Reglas para filosofar (lo que para él es filosofía para nosotros es ciencia), incluye una sección de Fenómenos. Entre los seis fenómenos que piensa que ha explicado su *Sistema del mundo* se encuentran:

> Que, con las estrellas fijas en reposo, los tiempos periódicos de los cinco planetas primarios y (tanto del Sol en torno a la Tierra como) de la Tierra en torno al Sol son como la 3/2ava potencia de sus distancias medias al Sol.
> Que la Luna, mediante un radio trazado al centro de la Tierra, describe un área proporcional al tiempo de descripción [Newton, 1729/1934, pp. 404-405] [Madrid, Editora Nacional, 1982, pp. 664, 666.]

No se trata de postulados observacionales, y no existen datos en los términos que estamos usando. Se trata de postulados sobre los fenómenos que han de explicarse. Como reconoció Newton, estos fenómenos provienen del trabajo de gigantes en cuyos hombros se paró: Galileo, Kepler y Brahe.[32]

A su vez, las "trayectorias planetarias elípticas" de Kepler fueron fenómenos separados de sus datos y mediciones astronómicas, y no necesariamente implicados en ellos. Como notó William Whewell en el siglo XIX, en su crítica a la descripción inductivista de la ciencia de Mill, el concepto de una trayectoria elíptica fue provisto por la mente de Kepler, no por sus datos. Por lo general, no hay inferencias unívocas de datos a fenómenos. Los fenómenos están infradeterminados por los datos, del mismo modo que la teoría está infradeterminada por la evidencia. En el caso anterior, los datos probablemente son congruentes con los tiempos periódicos de la 5/4ava potencia de la distancia media.

Puede ser útil representar la situación tal como se muestra en el cuadro VI.1.

- *El nivel 6* está conformado por objetos, procesos y acontecimientos que suceden en el mundo.
- *El nivel 5* está conformado por percepciones, observaciones y estados psicológicos ocasionados por acontecimientos del mundo.
- *El nivel 4* está conformado por la articulación o la postulación de experiencias observacionales.
- *El nivel 3* está conformado por la representación (en gráficas, cuadros, listas) de observaciones; esto constituye los datos.
- *El nivel 2* está conformado por fenómenos tales como "el movimiento isocrónico" o "las trayectorias elípticas", que pueden ser representados mediante modelos, leyes empíricas o ecuaciones como $T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$.
- *El nivel 1* está conformado por las leyes científicas fundamentales o teorías de nivel superior.

CUADRO VI.1. *Objetos y procesos, percepción, datos, fenómenos y leyes*

Nivel 1	Leyes y mecanismos fundamentales	La atracción gravitacional Movimiento armónico simple
Nivel 2	Fenómenos, modelos científicos, idealizaciones	Cuatro leyes del péndulo (independencia de la masa y la amplitud; el periodo cambia con la raíz cuadrada de la longitud; oscilación isocrónica)
Nivel 3	Datos	Mediciones individuales del periodo para distintas masas, amplitudes y longitudes; puntos dispersos sobre una gráfica
Nivel 4	Percepción proposicional	Articular diferentes hechos de la materia tal como se ve
Nivel 5	Percepción objetual	Ver u observar un péndulo que oscila
Nivel 6	Objetos, acontecimientos y procesos en el mundo	Mecer un peso sujeto al extremo de una cuerda

Una hoja otoñal que se mueve de modo caótico mientras cae “obedece” a varios mecanismos causales fundamentales —la gravitación, la resistencia del aire, etc.—, pero su camino (los datos particulares) no ejemplifican ni confirman las leyes aplicables. Al contrario de lo que afirma Nancy Cartwright, no necesitamos creer que las leyes fundamentales de la física mienten. Pueden mentir sobre las apariencias (los puntos del nivel 3, enumerados arriba), pero si abandonamos la vieja y enraizada convicción aristotélica de que las leyes deberían ocuparse de los puntos del nivel 3, podemos mantener que son ciertas: ciertas para los fenómenos, no para los datos. James Brown, que concluyó así su análisis sobre el tema, sostiene atinadamente este punto:

> Debemos distinguir los fenómenos de los datos, de la materia de la observación y de la experiencia. Son relativamente abstractos, pero tienen un carácter fuertemente visual. Están construidos a partir datos, pero no pueden construirse de cualquier manera. Los fenómenos son clases naturales que podemos representar. Aparecen en los experimentos mentales y desempeñan un papel indispensable en la inferencia científica que media entre los datos y la teoría. Así que prestémosles atención [Brown, 1996, p. 128].

Otras características

Podríamos haber seleccionado otras características de la ciencia y otros temas filosóficos de la historia del péndulo, por ejemplo, el debate sobre el significado mismo del tiempo. Cualquier investigación o discusión sobre el péndulo nos conduce rápidamente hacia el

problema del tiempo: ¿qué es, y cuál es la mejor manera de medirlo? En el mundo occidental grandes luminarias como Platón, Aristóteles, san Agustín, santo Tomás de Aquino, Newton, Mach y Einstein llevan al menos 2 500 años haciéndose estas preguntas. Otras culturas tienen sus propias tradiciones seculares para relacionarse con el tiempo y su medición. En todas estas culturas, la relación con el tiempo incluye contribuciones de artistas, poetas, músicos, teólogos, filósofos, dramaturgos y científicos. Las discusiones sobre el tiempo tienen que ver con calendarios, rituales religiosos y culturales, cosmología y un sinfín de detalles de la vida cotidiana, desde la puntualidad personal hasta los trenes y los aviones que llegan "a tiempo". Las clases sobre el péndulo son una oportunidad para que los alumnos aprecien estas diversas formas tradicionales de vincularse con el tiempo y aprendan de ellas; se trata de tradiciones en las que se entrelazan la ciencia, la filosofía, la tecnología y la cultura.[33]

Los temas que identificamos antes pueden observarse en la historia de casi todos los campos de la ciencia: la genética, la combustión, la estructura atómica, la astronomía, la evolución, etc. En todos los casos, resulta valioso discutir con los alumnos sobre la interrelación de estas influencias y temas.

Prestar atención al lugar que se le concede al péndulo en los planes de estudio ofrece una buena mirada al grado en el que la enseñanza de la ciencia se ha relacionado con la historia y filosofía de la ciencia y la ha empleado para sus fines. A Jerrold Zacharias, el principal impulsor del curso de física de la PSSC en la década de 1960, no le parecía que el péndulo simple tuviera un gran valor educativo; decía que "no era muy interesante" para los alumnos (Zacharias, 1964, p. 69). Él recomendaba comenzar la enseñanza con el péndulo doble, que produce "fenómenos encantadores" que harán que los alumnos quieran aprender más adelante sobre el péndulo simple, "que es algo que ocurre sin falta" (Zacharias, 1964, p. 69). Si este enfoque funciona o no en el aula es un problema empírico, pero dejando esto de lado, lo que los alumnos puedan aprender sobre el péndulo simple dependerá de que los maestros aprecien en alguna medida la fértil historia del tema. La evidencia es que no la aprecian demasiado.

Resulta revelador, y aleccionador, analizar el uso del péndulo durante las últimas tres décadas, en las que se han hecho grandes esfuerzos por mejorar los programas de ciencia en las escuelas de Estados Unidos. Estos esfuerzos han involucrado a miles de personas en organismos como la AAAS, la NRC, la National Academy of Sciences, la National Academy of Engineering y la NSF; los órganos institucionales más importantes de la física, la química, la biología, las ciencias de la tierra, y las principales organizaciones nacionales y estatales de enseñanza de la ciencia, incluyendo la NSTA y la National Association for Research in Science Teaching (NARST). A pesar de que existe una supervisión tan abundante y brillante como ésta, el péndulo apenas aparece, y cuando lo hace se explota muy poco de su potencial para la enseñanza de contenidos científicos, de metodologías y de la "naturaleza de la ciencia". Esto se debe, en parte, a la malsana brecha que divide las comunidades de enseñanza de la ciencia y de la historia y filosofía de la ciencia, y no sólo en Estados Unidos.

Alcance, secuencia y coordinación

La amplia e influyente propuesta curricular de US NSTA —Scope, Sequence and Coordination [Alcance, secuencia y coordinación] (Aldridge, 1992)— hace énfasis en el péndulo como tema que ejemplifica bien sus afirmaciones sobre la importancia de la secuencia y la coordinación en la enseñanza de la ciencia. Y sin embargo, en ninguna parte de su discusión sobre el péndulo se mencionan la historia, la filosofía o la tecnología.

En 1989, la AAAS publicó su completísimo reporte *Science for All Americans* [Ciencia para todos los estadunidenses] (AAAS, 1989). Allí reconocía que: "no tenemos que pedirle a las escuelas que enseñen cada vez más contenidos, sino concentrarnos en los que son esenciales para la cultura científica y para enseñarla de forma más efectiva" (AAAS, 1989, p. 4). El reporte nota que los alumnos tenían que aprender sobre "La naturaleza de la ciencia", y es por ello que éste es el título del primer capítulo. El reporte reconoce así la importancia de aprender sobre las relaciones mutuas entre la ciencia y las matemáticas: "La alianza entre ciencia y matemáticas tiene una larga historia, que se remonta a muchos siglos atrás […] Las matemáticas son el lenguaje fundamental de la ciencia" (AAAS, 1989, p. 34). También reconoce que habría que apreciar algunos pasajes de la historia de la ciencia puesto que "son de una importancia incomparable para nuestra herencia cultural" (AAAS, 1989, p. 111).

Entre diez episodios como éstos selecciona la demostración de Newton de que "las mismas leyes aplican para el movimiento en los cielos y en la Tierra" (AAAS, 1989, p. 113). Ofrece una descripción muy rica de este episodio y de sus impactos científicos, filosóficos y culturales, pero por desgracia no menciona lo que le permitió a Newton alcanzar esta unificación: el péndulo. De haberse mencionado, esta "gran idea" podría haber sido vinculada con algo tangible, cercano a la experiencia de los alumnos; se habría vuelto a poner énfasis en el lugar de las matemáticas en la ciencia y se habría construido un maravilloso estudio de caso sobre la naturaleza de la ciencia.

Los estándares nacionales de Estados Unidos

La subutilización del tema del péndulo puede notarse al leer los *National Science Education Standards* [Estándares nacionales de enseñanza de la ciencia] de Estados Unidos (NRC, 1996). Los *Estándares* adoptan la misma perspectiva liberal o integral de la cultura científica que el NCEE en 1983; afirman que "incluyen la comprensión de la naturaleza de la ciencia, la actividad científica y el papel de la ciencia en la sociedad y en la vida personal" (NRC, 1996: 21). Los *Estándares* consagran dos páginas al tema del péndulo (pp. 146-147), pero no hacen mención de la historia, la filosofía o el impacto cultural de los estudios del movimiento del péndulo; no se habla de las conexiones entre el péndulo y la medición del tiempo, del problema de la longitud o del péndulo de Foucault.

Resulta asombroso que en el ejercicio que se propone no se aproveche la oportunidad, evidente, de asociar los estándares de longitud (el metro) con los estándares de tiempo (el segundo) y con los estándares de peso. En cambio, se le pide a los alumnos

que construyan un péndulo que haga seis oscilaciones en 15 segundos. Se trata de un ejercicio básicamente inútil, en particular cuando podría habérseles pedido que hicieran uno que oscila en segundos y luego medir su longitud y preguntarse sobre las coincidencias entre su péndulo de segundos y el metro (Matthews, 1998).

Resulta deprimente saber que el documento de los *Estándares* fue revisado, en su etapa de borrador, por decenas de miles de maestros y pedagogos. Está claro que si al menos algunos de los lectores hubieran tenido ciertos conocimientos sobre historia y filosofía del péndulo habrían podido transformar la forma en la que se trató el tema en los *Estándares,* y habrían invitado a los maestros a alcanzar así las metas liberales del documento. La enseñanza de la ciencia a los alumnos estadunidenses habría podido ser mucho más rica y significativa. Que este conocimiento histórico y filosófico no se manifestase en los *Estándares* revela la cantidad de trabajo que debe realizarse para que los maestros de ciencia se familiaricen más con la historia y la filosofía del tema que enseñan, y la importancia de vincular más estrechamente las comunidades de enseñanza de la ciencia con las de los historiadores y los filósofos de la ciencia.

America's Lab Report

La NRC estadunidense encargó que se realizara un gran estudio sobre el trabajo práctico en las escuelas de Estados Unidos; se publicó con el nombre de *America's Lab Report: Investigations in High School Science* [Reporte de laboratorio de Estados Unidos: Investigaciones sobre ciencia en la educación media superior] (NRC, 2006). El libro tiene 236 páginas, siete capítulos y cientos de referencias. El péndulo aparece en tres entradas del índice. En su primera aparición, se dice que es lamentable que los maestros simplifiquen los experimentos con el péndulo e ignoren "el conjunto de variables que pueden afectar su funcionamiento" (NRC, 2006, p. 117). Se les sugiere a los maestros que reconozcan estos "obstáculos", tales como la fricción y la resistencia del aire, pero los autores dicen a continuación que estas circunstancias rápidamente "pueden volverse abrumadoras para el alumno y para el instructor" (NRC, 2006, p. 118). Esto no ayuda mucho. Tal vez era un buen momento para decir algo sobre la importancia fundamental de la idealización y la abstracción para la actividad científica misma, aquello de que los árboles no dejan ver el bosque. Éste fue el problema que Thomas Kuhn identificó en su discusión sobre el péndulo, y el que enfrentó Da Vinci; se encuentra en el núcleo del debate entre Galileo y su mecenas Guidobaldo del Monte, pero el *Lab Report* no dice nada sobre este procedimiento científico fundamental, y mucho menos ofrece algo de contexto histórico sobre su solución. El péndulo le permite a los alumnos experimentar, en forma muy tangible, el efecto de los "obstáculos" y los "accidentes" (Koertge, 1977), o "errores", en la terminología contemporánea, sobre la manifestación o "visibilidad" de

los procesos naturales centrales.

En la segunda aparición del péndulo en el índice, se critica el "típico experimento del péndulo", puesto que es "higiénico" y sólo se usa para enseñar contenido científico —que el "periodo de un péndulo depende de la longitud de la cuerda y de la fuerza de gravedad"— y no habilidades para el proceso científico (NRC, 2006, p. 126). En contraste con estas "malas" clases prácticas sobre el péndulo, en la tercera aparición se describe una "buena" clase que ocupa un recuadro de dos páginas. Para esta clase, primero se le recomienda a los maestros que demuestren péndulos que oscilan y luego, de forma muy guiada, le pidan a los alumnos que grafiquen las relaciones entre periodo y masa, periodo y amplitud, y periodo y longitud; finalmente, se sugiere que el maestro discuta la importancia de obtener una cantidad adecuada de datos sobre la variable independiente dentro de cierto rango (NRC, 2006, pp. 128-129).

Este ejercicio no hace daño y hasta puede ser benéfico, pero no tiene nada de notable. Se eliminó todo lo que tiene que ver con la suculenta historia del péndulo: no se hace mención a Galileo, Huygens, Newton, Hooke, la gravitación universal, la medición del tiempo, los relojes, los estándares de longitud, la forma de la Tierra o las leyes de conservación. No se sugiere que existe una conexión entre la ciencia, la tecnología y la sociedad; no ayuda a sentirse parte de una tradición científica. Nada. Ni siquiera se les dice a los maestros que hablen sobre estos grandes científicos y sobre los descubrimientos que hicieron con ayuda del péndulo.

En esta estandarizada "lección del modelo de péndulo" se le dice a los maestros y a los alumnos que grafiquen el periodo contra la longitud. Se trata de una tarea con resultados mínimamente útiles: esta gráfica arroja un conjunto de puntos dispersos que con trabajos establece una tendencia. Tras hacer esto, bien podría habérsele pedido a los alumnos de 17 o 18 años que graficaran el periodo contra la raíz cuadrada de la longitud. Al hacer esto, a partir de los datos se obtiene una recta, y no una dispersión de puntos. Como discutimos antes, el fenómeno físico es revelado gracias a la manipulación matemática. Comienza a entenderse, como lo entendieron Galileo y Huygens, que el periodo no sólo cambia con la longitud, sino que varía directamente con la raíz cuadrada de la longitud; la conclusión de los datos pasa de una poco concluyente $T \alpha L$ a una concluyente $T = k\sqrt{L}$. Esta lección modelo le advierte a los maestros que "eviten presentar la ecuación formal del péndulo, porque la actividad de laboratorio no está diseñada para verificar esta conocida relación" (NRC, 2006, p. 129). Los alumnos de grados avanzados en Japón, Corea, Singapur y buena parte del mundo no tienen este problema, y los estadunidenses merecen algo mejor que un plan de estudios simplificado y carente de historia y filosofía de la ciencia.

La gráfica del periodo contra la raíz cuadrada de la longitud muestra, en una forma fácil de manejar, el dramático impacto de las matemáticas sobre la física; sin la noción

matemática de raíz cuadrada, sólo vemos tendencias cuantitativas; usando la raíz cuadrada, vemos una relación cuantitativa precisa. Esta relación precisa, además, permitirá asociar el péndulo con la caída libre, en la que la distancia de la caída varía con la raíz cuadrada del tiempo. Todo esto falta en el *Lab Report,* y también está ausente la posibilidad de enseñar física mediante un conocimiento más rico y sofisticado del péndulo. Lo que parece haber sucedido es lo que el NRC reconoce en otra publicación: "Como educadores estamos subestimando lo que los niños pequeños son capaces de hacer como alumnos de ciencia; el listón casi siempre está demasiado bajo" (NRC, 2007, p. vii). Es una lástima que no siguieran su propio consejo.

Los estándares científicos de nueva generación

El NRC ofrece tres razones para producir estándares científicos de nueva generación (ECNG) en Estados Unidos, una de las cuales es que existe "un conjunto creciente de investigaciones sobre el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia" que puede utilizarse. La historia de las supuestas "reformas" al plan de estudios de ciencia sugiere que tomemos estas declaraciones con cautela. En las décadas de 1950 y 1960, el "creciente conjunto de investigaciones sobre el aprendizaje y la enseñanza" nos dio el conductismo y los objetivos conductistas, que han desaparecido sin dejar rastro educativo; en la década de 1970, el "creciente conjunto de investigaciones" nos dio el aprendizaje mediante el descubrimiento y la enseñanza tipo "científico por un día", ambos con efectos mínimos, si es que no dañinos; en las décadas de 1980 y 1990, el "creciente conjunto de investigaciones" nos dio el constructivismo, que barrió con todo lo que se le puso enfrente en las escuelas normales pero que ha revelado, tras un análisis más sobrio, sus considerables defectos filosóficos y pedagógicos, como veremos en el capítulo VIII. Por supuesto, hace falta entender bien la enseñanza y el aprendizaje, pero las mejoras curriculares no brotan por su cuenta a partir de las prácticas para enseñar y aprender materiales, sino de nuestros conocimientos sobre qué material enseñar y aprender, y dónde ubicar los temas y los conceptos en los estándares estatales y nacionales. Aquí es donde una comprensión más sofisticada de la historia y la filosofía de los estudios y los usos del péndulo (y por supuesto de todos los otros temas) bien puede contribuir a la enseñanza de la ciencia. Puede llevarnos a tener mejores planes de estudio y mejores conexiones entre las distintas ramas disciplinarias.

El péndulo "marca todas las casillas de los estándares científicos de nueva generación", por así decirlo. Como han demostrado Japón, Corea y muchos otros países, los niños muy pequeños pueden trabajar en forma productiva y divertida con actividades con péndulos (Kwon *et al.,* 2006; Sumida, 2004).[34] No es una casualidad que Jean Piaget usara el péndulo para su investigación sobre el desarrollo progresivo de las

habilidades de razonamiento científico de los niños, en particular su capacidad para identificar y controlar variables (Bond, 2004). La sofisticación de las actividades con péndulos y su relación con otras áreas y temas en ciencia puede acentuarse mediante una progresión; pueden hacerse conexiones evidentes con la música, las matemáticas, la tecnología y la ingeniería, e incluso con la química (De Berg, 2006). Gracias al uso del péndulo en clase puede cultivarse todo el espectro de habilidades de procesamiento (recolección y representación de datos, generación de hipótesis), habilidades metodológicas (generar hipótesis, probarlas contra la evidencia, poner a prueba las teorías, etc.) y construcción de modelos.[35]

Habrá que ver si el péndulo aparece en el documento definitivo de los estándares científicos de nueva generación, pero no parece haber buenos auspicios. En el borrador actual (2012) el péndulo se menciona cuatro veces, cada una en relación con la transformación de la energía de su forma potencial a su forma cinética. Se trata de un nivel de abstracción muy superior al que se requiere, está más allá de la experiencia cotidiana de los alumnos y glorifica el papel que desempeñó el péndulo en la historia de la física y en su uso social. El borrador menciona las leyes de Newton, su teoría de la gravitación y de la conservación del momento, pero no menciona el péndulo, que podría usarse tan fácilmente para que estos objetivos de aprendizaje fueran evidentes y empíricos.

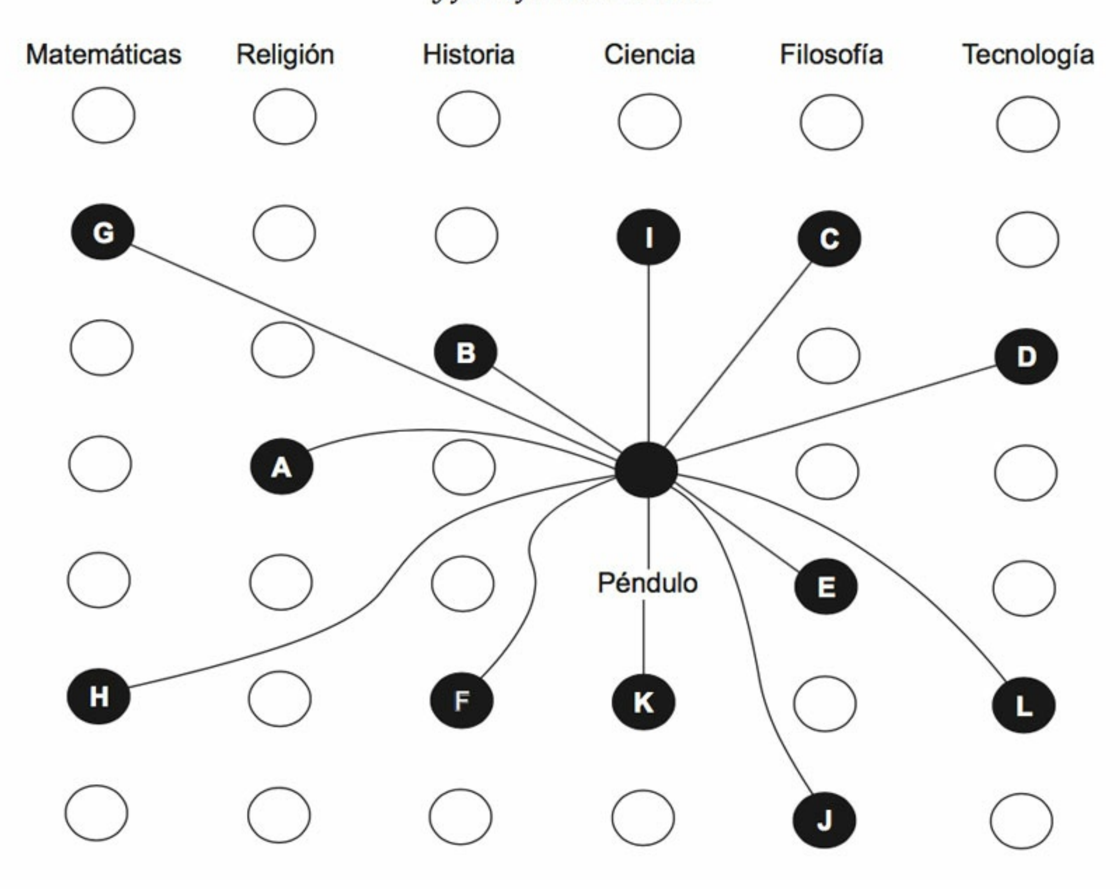
CONCLUSIÓN

Este capítulo presentó el caso del péndulo como un ejemplo de las posibles contribuciones de la historia y filosofía de la ciencia a la más rutinaria enseñanza de la ciencia. Ofrece la oportunidad de aprender sobre ciencia al mismo tiempo que los alumnos aprenden los temas científicos. Con una buena enseñanza inspirada en la historia y filosofía de la ciencia, el caso del movimiento del péndulo les permite a los alumnos apreciar la transición de las descripciones empíricas y de sentido común características de la ciencia aristotélica a las descripciones abstractas, idealizadas y matemáticas características de la revolución científica. El péndulo es una ventana manejable, comprensible y directa hacia el pensamiento científico que se encuentra en la esquina opuesta al pensamiento cotidiano y empírico, y demuestra, al mismo tiempo, cómo el pensamiento científico e idealizado está vinculado con el mundo mediante los experimentos controlados.

La enseñanza "contextual" de la ciencia, tal como se sugiere aquí, no es una retirada de la ciencia seria, o dura, sino lo contrario. Entender qué ocurrió en la historia de la ciencia requiere esfuerzo. Y además a los alumnos les llama la atención. Un estribillo que repiten muchos alumnos inteligentes que deciden no seguir estudiando ciencia es que "la ciencia es demasiado aburrida; sólo resolvemos problemas".[36] La historia de los esfuerzos humanos por entender el movimiento del péndulo está lejos de ser aburrida: está poblada por grandes mentes, sus debates son apasionantes y ofrece una línea narrativa que permite seguir los complejos desarrollos teóricos de la ciencia. Además de obtener una mejor comprensión de la ciencia, los alumnos que reciben una educación contextual pueden entender mejor la naturaleza de la ciencia y tienen algo que recordar mucho después de haber olvidado la ecuación para el periodo del péndulo.

El diagrama de la figura VI.13, donde las columnas representan las materias curriculares y los círculos, temas dentro de cada materia, demuestra la función integradora de la historia y de la filosofía dentro del plan de estudios.[37]

Figura vi.13. *Vínculos dentro de un plan de estudios inspirado en la historia y filosofía de la ciencia*



Nota: A: argumento del diseño; B: viajes europeos de descubrimiento; C: física y metodología aristotélica; D: reloj de péndulo; E: idealización y verificación de teorías; F: medición del tiempo y regulación social; G: geometría del círculo; H: matemáticas aplicadas; I: estándares y medidas; J: tiempo; K: energía; L: geodesia.

El contenido del día escolar, o al menos del año escolar, puede pensarse más como un tapete que como una cortina de cuentas curriculares hiladas. Esto último es un problema bien documentado en la enseñanza de la ciencia en Estados Unidos, con sus legendarios planes de estudios de "una milla de largo y una pulgada de ancho" (Kesidou y Roseman, 2002). Sin embargo, si se enseña desde una perspectiva histórica y filosófica, el movimiento del péndulo también permite establecer conexiones con la religión, la historia, las matemáticas, la filosofía, la música y la literatura, así como con otros temas del programa de ciencias. Y este tipo de enseñanza promueve una comprensión más profunda de la ciencia, su metodología y sus contribuciones a la sociedad y a la cultura; sin embargo, para que exista, primero hay que reconocer las conexiones entre quienes diseñan los planes de estudio y los maestros que tienen a su cargo llevar a la práctica estos planes o lograr los estándares que se les piden, lo cual nos

lleva al tema de la historia y filosofía de la ciencia en la formación o la capacitación continua de los maestros, pero ése es un problema distinto y nos ocuparemos de él en otro capítulo.

AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1989), *Project 2061: Science for All Americans,* Washington, D. C., AAAS. También publicado por Oxford University Press, 1990.

Achinstein, P. (1990), "Newton's corpuscular query and experimental philosophy", en P. Bricker y R. I. G. Hughes (coords.), *Philosophical Perspectives on Newtonian Science,* Cambridge, MIT Press, pp. 135-173.

Aczel, A. D. (2003), *Pendulum: Léon Foucault and the Triumph of Science,* Nueva York, Atria Books.

———— (2004), "Leon Foucault: His life, times and achievements", *Science & Education,* vol. 13, núms. 7-8, pp. 675-687.

Alder, K. (1995), "A revolution to measure: The political economy of the metric system in France", en M. N. Wise (coord.), *The Value of Precision,* Princeton, Princeton University Press, pp. 39-71.

———— (2002), *The Measure of All Things: The Seven-Year Odyssey that Transformed the World,* Londres, Little Brown. [Hay edición en español: *La medida de todas las cosas,* Madrid, Taurus, 2003.]

Aldridge, B. G. (1992), "Project on scope, sequence, and coordination: A new synthesis for improving science education", *Journal of Science Education and Technology,* vol. 1, núm. 1, pp. 13-21.

Althusser, L., y E. Balibar (1970), *Reading Capital,* Londres, New Left Books. [Hay edición en español: *Para leer* El capital, Madrid, Siglo Veintiuno de España, 2010.]

Ariotti, P. E. (1968), "Galileo on the isochrony of the pendulum", *Isis,* vol. 59, pp. 414-426.

Austin, J. L. (1961), *Philosophical Papers,* Oxford, Oxford University Press.

Ayer, A. J. (1955), *The Foundations of Empirical Knowledge,* Londres, Macmillan.

Ayer, A. J. (1956), *The Problem of Knowledge,* Harmondsworth, Penguin. [Hay edición en español: *El problema del conocimiento,* Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, 1985.]

Baltas, A. (1988), "On the structure of physics as a science", en D. Batens y J. P. van Bendegens (coords.), *Theory and Experiment,* Dordrecht, Reidel, pp. 207-225.

———— (1990), "Once again on the meaning of physical concepts", en P. Nicolacopoulos (coord.), *Greek Studies in the Philosophy and History of Science,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 293-313.

Barnett, J. E. (1988), *Time's Pendulum: From Sundials to Atomic Clocks, the Fascinating History of Timekeeping and How our Discoveries Changed the World,* Nueva York, Harcourt Brace. [Hay edición en español: *El péndulo del*

tiempo. En pos del tiempo: De los relojes de sol a los atómicos, Barcelona, Península, 2000.]

Bedini, S. A. (1986), "Galileo and scientific instrumentation", en W. A. Waller (coord.), *Reinterpreting Galileo,* Washington, D. C., Catholic University of America Press, pp. 127-154.

———— (1991), *The Pulse of Time: Galileo Galilei, the Determination of Longitude, and the Pendulum Clock,* Florencia, Olschki.

Bensky, T. J. (2010), "The longitude problem from the 1700s to today: An international and general education physics course", *American Journal of Physics,* vol. 78, núms. 1, pp. 40-46.

Bogen, J., y J. Woodward (1988), "Saving the phenomena", *The Philosophical Review,* vol. XCVII, núm. 3, pp. 303-350.

Bond, T. G. (2004), "Piaget and the pendulum", *Science & Education,* vol. 13, núms. 4-5, pp. 389-399.

Boulos, P. J. (2006), "Newton's path to universal gravitation: The role of the pendulum", *Science & Education,* vol. 15, núm. 6, pp. 577-595.

Brown, J. R. (1996), "Phenomena", en R. S. Cohen, R. Hilpinen y Q. Renzong (coords.), *Realism and Anti-Realism in the Philosophy of Science,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 117-129.

Butterfield, H. (1949/1957), *The Origins of Modern Science 1300-1800,* Londres, G. Bell. [Hay edición en español: *Los orígenes de la ciencia moderna,* Madrid, Taurus, 1982.]

Büttner, J. (2008), "The pendulum as a challenging object in early-modern mechanics", en W. R. Laird y S. Roux (coords.), *Mechanics and Natural Philosophy before the Scientific Revolution,* Dordrecht, Springer, pp. 223-237.

Cantor, G. (1991), *Michael Faraday: Sandemanian and Scientist,* Nueva York, St. Martin's Press.

Cartwright, N. (1983), *How the Laws of Physics Lie,* Oxford, Clarendon Press.

Chalmers, A. F. (1976/2013), *What Is this Thing Called Science?,* 4ª ed., St. Lucia, University of Queensland Press. [Hay edición en español: *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?,* 3ª ed. corregida y aumentada, México, Siglo Veintiuno Editores, 1984.]

Chapin, S. L. (1994), "Geodesy", en I. Grattan-Guiness (coord.), *Companion Encyclopedia of the History and Philosophy of the Mathematical Sciences,* Londres, Routledge, pp. 1089-1100.

Clagett, M. (1959), *The Science of Mechanics in the Middle Ages,* Madison, University of Wisconsin.

De Berg, K. C. (2006), "Chemistry and the pendulum: What have they to do with

each other?", *Science & Education,* vol. 15, núm. 6, pp. 619-641.
Drabkin, I. E. (1938), "Notes on the laws of motion in Aristotle", *American Journal of Philology,* vol. 59, pp. 60-84.
Drake, S. (1978), *Galileo at Work,* Chicago, University of Chicago Press. Reimpreso en Nueva York por Dover Publications, 1996.
———— (1990), "The laws of pendulum and fall", en *Galileo: Pioneer Scientist,* Toronto, University of Toronto Press, pp. 9-31.
Dugas, R. (1998), *A History of Mechanics,* Nueva York, Dover (publicado originalmente en 1955).
Falomo, L., G. Albanesi y F. Bevilacqua (2014), "Museum heroes all: The Pavia approach to school-science museums interactions", *Science & Education,* vol. 23, núm. 4, pp. 761-780.
Fantoli, A. (1994), *Galileo: For Copernicanism and for the Church,* trad. de G. V. Coyne, Ciudad del Vaticano, Publicaciones del Observatorio Vaticano (distribuido por University of Notre Dame Press). [Hay edición en español: *Galileo. Por el copernicanismo y por la Iglesia,* Estella, Verbo Divino, 2011.]
Feinstein, N. (2011), "Salvaging science literacy", *Science Education,* vol. 95, pp. 168-185.
Finocchiaro, M. A. (1980), *Galileo and the Art of Reasoning,* Dordrecht, Reidel.
Fleck, L. (1935/1979), *Genesis and Development of a Scientific Fact,* ed. por T. J. Trenn y R. K. Merton, Chicago, University of Chicago Press. [Hay edición en español: *La génesis y el desarrollo de un hecho científico,* Madrid, Alianza, 1987.]
Frank, P. (1947/1949), "The place of philosophy of science in the curriculum of the physics student", *American Journal of Physics,* vol. 15, núm. 3, pp. 202-218. Reimpreso en *Modern Science and Philosophy,* Harvard, Harvard University Press, pp. 228-259.
Galilei, Galileo (1590/1960), *"De motu",* en I. E. Drabkin y S. Drake (coords.), *Galileo Galilei on Motion and on Mechanics,* Madison, University of Wisconsin Press.
———— (1602/1978), "Letter to Guidobaldo del Monte", en S. Drake, *Galileo at Work: His Scientific Biography,* Mineola, Dover Publications, pp. 69-71.
———— (1632/1953), *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems,* trad. de S. Drake, Berkeley, University of California Press (2ª ed. revisada, 1967). [Hay edición en español: *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano,* Madrid, Alianza, 1995.]
———— (1638/1954), *Dialogues Concerning Two New Sciences,* trad. de H. Crew y A. de Salvio, Nueva York, Dover Publications (publicado originalmente en

1914). [Hay edición en español: *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias,* ed. de C. Solís y J. Sádaba, Madrid, Editora Nacional, 1981.]

Gauld, C. F. (1998), "Solutions to the problem of impact in the 17th and 18th centuries and teaching Newton's third law today", *Science & Education,* vol. 7, núm. 1, pp. 49-67.

———— (2004), "Pendulums in physics education literature: A bibliography", *Science & Education,* vol. 13, núms. 7-8, pp. 811-832.

———— (2006), "Newton's cradle in physics education", *Science & Education,* vol. 15, núm. 6, pp. 597-617.

Giere, R. N. (1988), *Explaining Science: A Cognitive Approach,* Chicago, University of Chicago Press.

———— (1999), *Science without Laws,* Chicago, University of Chicago Press.

Gooding, D., T. Pinch y S. Schaffer (coords.) (1989), *The Uses of Experiment,* Cambridge, Cambridge University Press.

Guadagni, C. A. (1764), *Specimen experimentorum naturalium,* Pisa, Carotti.

Hacking, I. (1988), "Philosophers of experiment", en A. Fine y J. Lepin (coords.), *PSA,* vol. 2, pp. 147-156.

Haig, B. D. (2014), *Investigating the Phsychological World: Scientific Method in the Behavioral Sciences,* Cambridge, MIT Press.

Hall, B. S. (1978), "The scholastic pendulum", *Annals of Science,* vol. 35, pp. 441-462.

Hanson, N. R. (1958), *Patterns of Discovery,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *Patrones de descubrimiento, observación y explicación,* Madrid, Alianza, 1985.]

———— (1959), "Broad and the laws of dynamics", en P. A. Schilpp (coord.), *The Philosophy of C. D. Broad,* Nueva York, Tudor Publishing Company, pp. 281-312.

Hemmendinger, D. (1984), "Galileo and the phenomena: On making the evidence visible", en R. S. Cohen y M. W. Wartofsky (coords.), *Physical Sciences and the History of Physics,* Dordrecht, Reidel, pp. 115-143.

Herivel, J. (1965), *The Background to Newton's "Principia",* Oxford, Clarendon Press.

Hodson, D. (1986), "Rethinking the role and status of observation in science education", *Journal of Curriculum Studies,* vol. 18, núm. 4, pp. 381-396.

Holton, G. (1995), "How can science courses use the history of science?", en *Einstein, History and other Passions,* Woodbury, American Institute of Physics, pp. 257-264. [Hay edición en español: *Einstein, historia y otras pasiones,*

Madrid, Taurus, 1998.]
Holton, G., y S. G. Brush (2001), *Physics, the Human Adventure. From Copernicus to Einstein and Beyond,* New Brunswick, Rutgers University Press.
Hume, D. (1739/1888), *A Treatise of Human Nature: Being an Attempt to Introduce the Experimental Method of Reasoning into Moral Subjects,* Oxford, Clarendon Press. [Hay edición en español: *Tratado de la naturaleza humana,* 4ª ed., Madrid, Tecnos, 2005.]
Humphreys, W. C. (1967), "Galileo, falling bodies and inclined planes: An attempt at reconstructing Galileo's discovery of the law of squares", *British Journal for the History of Science,* vol. 3, núm. 11, pp. 225-244.
Huygens, C. (1637/1986), *Horologium oscillatorium. The Pendulum Clock or Geometrical Demonstrations Concerning the Motion of Pendula as Applied to Clocks,* trad. de R. J. Blackwell, Ames, Iowa State University Press.
Irzik, G. (1995), "Popper's epistemology and world three", en I. Kuçuardi y R. S. Cohen (coords.), *The Concept of Knowledge: The Ankara Seminar,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 83-95.
Kanari, Z., y R. Millar (2004), "Reasoning from data: How students collect and interpret data in science investigations", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 41, núm. 7, pp. 748-769.
Kant, I. (1787-1933), *Critique of Pure Reason,* 2ª ed., trad. de N. K. Smith, Londres, Macmillan (1ª ed., 1781). [Hay edición en español: *Crítica de la razón pura,* México, Porrúa, 1982.]
Kesidou, S., y J. E. Roseman (2002), "How well do middle school science programs measure up? Findings from Project 2061's curriculum review", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 39, núm. 6, pp. 522-549.
Koertge, N. (1977), "Galileo and the problem of accidents", *Journal of the History of Ideas,* vol. 38, pp. 389-409.
Koyré, A. (1957), *From the Closed World to the Infinite Universe,* Baltimore, The Johns Hopkins University Press. [Hay edición en español: *Del mundo cerrado al universo infinito,* Madrid, Siglo Veintiuno de España, 1979.]
——— (1968), *Metaphysics and Measurement,* Cambridge, Harvard University Press.
Kuhn, T. S. (1970), *The Structure of Scientific Revolutions,* 2ª ed., Chicago, Chicago University Press (1ª ed., 1962). [Hay edición en español: *La estructura de las revoluciones científicas,* México, Fondo de Cultura Económica, 2013.]
Kula, W. (1968), *Measures and Man,* Princeton, Princeton University Press. [Hay edición en español: *Las medidas y los hombres,* Madrid, Siglo Veintiuno de España, 2012.]

Kwon, Y.-J., J.-S. Jeong e Y.-B. Park (2006), "Roles of abductive reasoning and prior-belief in children's generation of hypotheses about pendulum motion", *Science & Education,* vol. 15, núm. 6, pp. 643-656.

Lakatos, I. (1970), "Falsification and the methodology of scientific research programmes", en I. Lakatos y A. Musgrave (coords.), *Criticism and the Growth of Knowledge,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 91-196. [Hay edición en español: *La crítica y el desarrollo del conocimiento: Actas del Coloquio Internacional de Filosofía de la Ciencia celebrado en Londres en 1965,* Madrid, Grijalbo, 1975.]

Landes, D. S. (1983), *Revolution in Time. Clocks and the Making of the Modern World,* Cambridge, Harvard University Press. [Hay edición en español: *Revolución en el tiempo: El reloj y la formación del mundo moderno,* Barcelona, Crítica, 2007.]

Laymon, R. (1982), "Scientific realism and the hierarchical counterfactual path from data to theory", en P. D. Asquith y T. Nickles (coords.), *PSA,* pp. 107-121.

———— (1984), "The path from data to theory", en J. Leplin (coord.), *Scientific Realism,* Berkeley, University of California Press, pp. 108-123.

Laymon, R. (1985), "Idealizations and the testing of theories by experimentation", en P. Achinstein y O. Hannaway (coords.), *Observation, Experiment, and Hypothesis in Modern Physical Science,* Cambridge, MIT Press, pp. 147-173.

Lederman, N., F. Abd-el-Khalick, R. L. Bell y R. S. Schwartz (2002), "Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learner's conceptions of the nature of science", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 39, pp. 97-521.

Lefèvre, W. (2001), "Galileo engineer: Art and modern science", en J. Renn (coord.), *Galileo in Context,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 11-24.

Lennox, J. G. (1986), "Aristotle, Galileo, and the 'mixed sciences'", en W. A. Wallace (coord.), *Reinterpreting Galileo,* Washington, D. C., Catholic University of America Press, pp. 29-51.

Machamer, P. (1998), "Galileo's machines, his mathematics, and his experiments", en P. Machamer (coord.), *The Cambridge Companion to Galileo,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 53-79.

Martins, R. de A. (1993), "Huygens' reaction to Newton's gravitational theory", en J. V. Field y F. A. J. L. James (coords.), *Renaissance and Revolution: Humanists, Scholars, Craftsmen and Natural Philosophers in Early Modern Europe,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 203-214.

Matthews, M. R. (1998), "Opportunities lost: The pendulum in the USA National Science Education Standars", *Journal of Science Education and Technology,* vol.

7, núm. 3, pp. 203-214.
———— (2000), *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy,* Nueva York, Kluwer Academic Publishers.
———— (2001), "Methodology and politics in science: The case of Huygens' 1673 proposal of the seconds pendulum as an international standard of length and some educational suggestions", *Science & Education,* vol. 10, núms. 1-2, pp. 119-135.
———— (2004), "Data, phenomena and theory: How clarifying the distinction can illuminate the nature of science", en K. Alston (coord.), *Philosophy of Education 2003,* Champaign, US Philosophy of Education Society, pp. 283-292.
———— (2014), "Pendulum motion: A case study in how history and philosophy can contribute to science education", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 19-56.
McMullin, E. (1985), "Galilean idealization", *Studies in the History and Philosophy of Science,* vol. 16, pp. 347-373.
Meli, D. B. (2006), *Thinking with Objects: The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century,* Baltimore, Johns Hopkins University Press.
Mittelstrass, J. (1972), "The Galilean revolution: The historical fate of a methodological insight", *Studies in the History and Philosophy of Science,* vol. 2, pp. 297-328.
Monte, G. del (1581/1969), "Mechaniche", en S. Drake e I. E. Drabkin (coords.), *Mechanics in Sixteenth-Century Italy,* Madison, University of Wisconsin Press, pp. 241-329.
Moody, E. A. (1975), *Studies in Medieval Philosophy, Science and Logic,* Berkeley, University of California Press.
Musgrave, A. (1974), "The objectivism of Popper's epistemology", en P. A. Schilpp (coord.), *The Philosophy of Karl Popper,* LaSalle, Open Court Publishing, pp. 560-596.
Naylor, R. H. (1974), "Galileo simple pendulum", *Physis,* vol. 16, pp. 23-46.
———— (1980), "The role of experiment in Galileo's early work on the law of fall", *Annals of Science,* vol. 37, pp. 363-378.
———— (1989), "Galileo's experimental discourse", en D. Gooding, T. Pinch y S. Schaffer (coords.), *The Uses of Experiment,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 117-134.
Newton, I. (1729/1934), *Mathematical Principles of Mathematical Philosophy,* trad. de A. Motte, revisada por F. Cajori, Berkeley, University of California Press. [Hay edición en español: *Principios matemáticos de la filosofía natural y su*

sistema del mundo, ed. de Antonio Escohotado, Madrid, Editora Nacional, 1982.]
Norris, S. P. (1985), "The philosophical basis of observation in science and science education", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 22, núm. 9, pp. 817-833.
Nowak, L. (1980), *The Stucture of Idealization,* Dordrecht, Reidel.
NRC (National Research Council) (1996), *National Science Education Standards,* Washington, D. C., National Academic Press.
———— (2006), *America's Lab Report: Investigations in High School Science,* Washington, D. C., National Academies Press.
———— (2007), *Taking Science to School. Learning and Teaching Science in Grades K-8,* Washington, D. C., National Acadmies Press.
Olmsted, J. W. (1942), "The scientific expedition of Jean Richer to Cayenne (1672-1673)", *Iris,* vol. 34, pp. 117-128.
Pelikan, J. (1985), *Jesus Through the Centuries: His Place in the History of Culture,* New Haven, Yale University Press. [Hay edición en español: *Jesús a través de los siglos,* Madrid, Herder, 1989.]
Pogo, A. (1935), "Gemma Frisius, his method of determining differences of longitude by transporting time-pieces (1530) and his treatise on triangulation (1533)", *Isis,* vol. 22, núm. 64, pp. 469-485.
Popper, K. R. (1934/1959), *The Logic of Scientific Discovery,* Londres, Hutchinson. [Hay edición en español: *La lógica de la investigación científica,* Madrid, Tecnos, 2008.]
———— (1972), *Objective Knowledge,* Oxford, Clarendon Press. [Hay edición en español: *Conocimiento objetivo: Un enfoque evolucionista,* 5ª ed., Madrid, Tecnos, 2007.]
Portides, D. (2007), "The relation between idealisation and approximation in scientific model construction", *Science & Education,* vol. 16, núms. 7-8, pp. 699-724.
PSSC (Physical Science Study Committee) (1960), *Physics,* Boston, D. C. Heath.
Quine, W. V. O. (1953), *From a Logical Point of View,* Nueva York, Harper & Row. [Hay edición en español: *Desde un punto de vista lógico,* Barcelona, Paidós, 2002.]
Radder, H. (coord.) (2003), *The Philosophy of Scientific Experimentation,* Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
Renn, J. (coord.) (2001), *Galileo in Context,* Cambridge, Cambridge University Press.
Roth, M.-W., y A. Roychoudhury (1994), "Physics students' epistemologies and views about knowing and learning", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 31, núm. 1, pp. 5-30.

Schweitzer, A. (1910/1954), *The Quest of the Historical Jesus: A Critical Study of Its Progress from Reimarus to Wrede,* 3ª ed., Londres, Adam y Charles Black.
Scriven, M. (1961), "The key property of physical laws – Inaccuracy", en H. Feigl y G. Maxwell (coords.), *Current Issues in the Philosophy of Science,* Nueva York, Holt, Rinehart & Winston, pp. 91-101.
Sneed, J. D. (1979), *The Logical Structure of Mathematical Physics,* 2ª ed., Dordrecht, Reidel.
Sobel, D. (1994), *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time,* Nueva York, Walker Publishing. [Hay edición en español: *Longitud,* Barcelona, Anagrama, 2006.]
Stafford, E. (2004), "What the pendulum can tell educators about children's scientific reasoning", *Science & Education,* vol. 13, núms. 7-8, pp. 757-790.
Suchting, W. A. (1986), "Marx and 'the problem of knowledge'", en *Marx and Philosophy,* Londres, Macmillan, pp. 1-52.
———— (1995), "The nature of scientific thought", *Science & Education,* vol. 4, núm. 1, pp. 1-22.
Smida, M. (2004), "The reproduction of scientific understanding about pendulum motion in the public", *Science & Education,* vol. 13, núms. 4-5, pp. 473-492.
Swartz, R. J. (coord.) (1965), *Perceiving, Sensing and Knowing,* Nueva York, Doubleday.
Tobin, K. (coord.) (1993), *The Practice of Constructivism in Science and Mathematics Education,* Washington, D. C., AAAS Press.
Tobin, W. (2003), *The Life and Science of Léon Foucault: The Man Who Proved the Earth Rotates,* Cambridge, Cambridge Univeristy Press.
Turetzky, P. (1998), *Time,* Londres, Routledge.
Van Rossum, G. D. (1996), *History of the Hour: Clocks and Modern Temporal Orders,* Chicago, Chicago University Press.
Westfall, R. S. (1980), *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton,* Cambridge, Cambridge University Press.
———— (1990), "Making a world of precision: Newton and the construction of a quantitative physics", en F. Durham y R. D. Purrington (coords.), *Some True Method. Reflections on the Heritage of Newton,* Nueva York, Columbia University Press, pp. 59-87.
White, L. (1966), "Pumps and pendula: Galileo and technology", en C. L. Golino (coord.), *Galileo Reappraised,* Berkeley, University of California Press, pp. 96-110.
Wise, M. N. (coord.) (1995), *The Values of Precision,* Princeton, Princeton University Press.

Wittgenstein, L. (1958), *Philosophical Investigations,* Oxford, Basil Blackwell. [Hay edición en español: *Investigaciones filosóficas,* Barcelona, Crítica, 2008.]
Wolf, F. A. (1981), *Taking the Quantum Leap,* Nueva York, Harper & Row. [Hay edición en español: *La nueva alquimia de la vida: Un salto cuántico hacia la transformación personal,* México, Océano Ámbar, 2007.]
Woodward, J. (1989), "Data and phenomena", *Synthese,* vol. 79, pp. 393-472.
Yoder, J. G. (1988), *Unrolling Time: Christiaan Huygens and the Mathematization of Nature,* Cambridge, Cambridge University Press.
Yolton, J. W. (2000), *Realism and Appearances: An Essay in Ontology,* Cambridge, Cambridge University Press.
Zacharias, J. R. (1964), "Curriculum reform in the USA", en S. C. Brown, N. Clarke y J. Tiomno (coords.), *Why Teach Physics: International Conference on Physics in General Education,* Cambridge, MIT Press, pp. 66-70.
Zachos, P. (2004), "Pendulum phenomena and the assessment of scientific inquiry capabilities", *Science & Education,* vol. 13, núms. 7-8, pp. 743-756.

VII. LA HISTORIA Y LA FILOSOFÍA EN EL AULA: JOSEPH PRIESTLEY Y EL DESCUBRIMIENTO DE LA FOTOSÍNTESIS[1]

Algunas consideraciones sociales y educativas importantes justifican que nos ocupemos de Joseph Priestley en los programas de estudio de ciencia.

- En primer lugar, se les pide a las escuelas que aborden problemas ambientales apremiantes, en particular "la bondad del aire" (parafraseando a Priestley) y, por lo tanto, deben enseñar algo sobre el proceso de la fotosíntesis, a cuya comprensión temprana tanto contribuyó este científico.
- En segundo lugar, las metas de la naturaleza de la ciencia se incluyen en muchos planes de estudio internacionales, y los textos y el trabajo de Priestley son muy buenos ejemplos de los rasgos esenciales de la naturaleza de la ciencia.
- En tercer lugar, la enseñanza y la cultura están crecientemente preocupadas por volver a evaluar y a examinar los principios de la tradición ilustrada europea, y en particular sus compromisos universalistas, naturalistas y seculares. Michael Peters, a quien citamos antes, entiende muy bien esta extendida preocupación (Peters, 1995, pp. 327-328). La vida y la obra de Priestley constituyen un caso excelente para evaluar lo que se ha extinguido y lo que aún sobrevive de las afirmaciones y los logros de los primeros ilustrados.

Priestley hizo contribuciones muy importantes a estas tres áreas, y por fortuna escribió en forma simple y cautivadora, con "el público" en mente; lo hizo de manera que los lectores podían experimentar y observar de la mano del autor. De hecho, puede considerarse que fue el primer defensor de "la ciencia para todos". Así, infundirle dimensiones históricas y filosóficas a este tema ubicuo en los planes de estudio de ciencia permite que se aprendan no sólo los contenidos científicos, sino también cosas importantes sobre ella y sobre los actores fundamentales de su historia y, en consecuencia, que se aprecie mejor la naturaleza de la ciencia.

La fotosíntesis en un proceso fundamental para la vida en la Tierra; de hecho, muchos biólogos lo clasifican como el proceso natural más importante de todos y, como tal, en la escuela ha sido parte central del plan de estudio de biología durante mucho tiempo. Sin embargo, sabemos bien que los niños de todos los niveles experimentan grandes dificultades para aprehender y comprender la fotosíntesis: la comprensión conceptual del proceso siempre se queda rezagada de lo que se espera para su grado y para el plan de estudios que se les ha enseñado.[2] En vista de los problemas ambientales actuales, que tienen que ver con el estado de la atmósfera, el comercio de carbono, las

emisiones de dióxido de carbono, los gases de efecto invernadero, la conservación de los bosques y otros igualmente bien difundidos por los medios, se vuelve urgente corregir los conocimientos imprecisos de los alumnos y del público en general sobre un proceso natural tan fundamental.

La parte científica del problema está conformada por dos procesos básicos y complementarios: la fotosíntesis[3] y la respiración:

> *Fotosíntesis:* dióxido de carbono + agua + energía (luz) → compuestos orgánicos (almidón) + oxígeno
> *Respiración:* compuestos orgánicos + oxígeno → dióxido de carbono + agua + energía

El primer proceso representa tanto la "captura de carbono" como la restauración del aire; cuando se extraen filones de carbón del subsuelo, o se talan y queman los bosques, ocurre una liberación masiva de carbón a través del segundo proceso. Ambos procesos son componentes fundamentales del "ciclo de carbón" de la Tierra. Por supuesto, es importante que los alumnos aprendan los procesos y sus dimensiones e impactos más generales: sociales, económicos, culturales y éticos. Sin embargo, existen enormes ventajas adicionales al aprender cómo es que se descubrieron y comprendieron estos procesos fundamentales; este aprendizaje permite apreciar y comprender la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica.

Como se mencionó en el capítulo II, Priestley fue uno de los principales científicos (filósofos naturales) del siglo XVIII. Toda su vida fue un pastor cristiano muy devoto y un activo exponente de los principios de la Ilustración. En particular, Priestley defendía la aplicación de la metodología de la nueva ciencia newtoniana a todos los campos de investigación: el histórico, el teológico, el educativo, el ético; la separación de la Iglesia y el Estado; la libertad de expresión, la libertad religiosa; la despenalización de las creencias y las prácticas religiosas y la liberación de la ciencia (incluidos los estudios históricos de las escrituras religiosas) de los yugos políticos y religiosos. Igual que Locke, Kant, Rousseau y todos los personajes de la Ilustración, era un defensor incansable de la educación, y en particular de lo que hoy llamaríamos "la enseñanza de la ciencia".[4] Así pues, la enseñanza de la fotosíntesis, con especial atención a las dimensiones históricas y filosóficas de la vida y la obra de Priestley, permite que nos ocupemos en forma productiva de cada una de las metas educativas antes mencionadas.

Los juicios inmisericordes, e injustos, que expresó Thomas Kuhn sobre Priestley en su bestseller *La estructura de las revoluciones científicas* (Kuhn, 1970) mancharon la reputación moderna de este autor ilustrado. En un famoso fragmento, Kuhn escribe sobre la irracionalidad del cambio de paradigma y cómo mueren los viejos paradigmas hasta que sólo permanecen "algunos viejos reductos". Enseguida menciona en particular a Priestley como un ejemplo "del hombre que sigue resistiendo aun después de que toda su profesión se ha convertido" y añade que un hombre como éste "ha dejado, *ipso facto,* de ser un científico" (Kuhn, 1970, p. 159). Esta escandalosa acusación "empañó" la reputación de Priestley en el mundo académico y las opiniones de Kuhn se convirtieron en el obituario oficial del científico: el viejo necio que se aferró a esa particular sustancia que era el flogisto y que se resistió a la iluminación de la química de Lavoisier. Por suerte, algunos historiadores y filósofos han elaborado cuidadosos estudios que refutan la caricatura de Priestley que dibujó Kuhn, aunque sus trabajos desgraciadamente no se han traducido a más de 20 idiomas y no son lectura obligada en infinidad de clases y de millones de lectores.

En su introducción a una edición decimonónica de la *Scientific Correspondence* de Priestley, Frederic Harrison ofrece un juicio más generoso, y preciso, sobre el autor:

> Si debiéramos elegir a un hombre como el modelo de la energía intelectual del siglo XVIII, difícilmente encontraríamos a uno mejor que Joseph Priestley, aunque no fuera la mejor mente del siglo. Su versatilidad, entusiasmo, actividad y humanidad; los inmensos alcances de su curiosidad en todos los temas, físicos, morales o sociales; su lugar en la ciencia, la teología, la filosofía y la política; su peculiar relación con la Revolución y la patética historia de sus inmerecidos sufrimientos bien pueden convertirlo en el héroe del siglo XVIII [Bolton, 1982, introducción].

Se ha escrito mucho sobre la vida y los logros de Priestley, así que los maestros pueden aprovechar algunos de estos textos para sacar sus propias conclusiones contemporáneas.[5] Priestley nació en Yorkshire en 1733 y murió el 6 de febrero de 1804 en Estados Unidos, en el pequeño, rústico y aislado pueblo de Northumberland, en el estado de Pensilvania. Si bien el bicentenario de su muerte fue justamente reconocido en los círculos históricos y químicos, pasó totalmente desapercibido en los educativos. Es una lástima, porque Priestley era un maestro y un pedagogo muy dedicado, y tal vez el primer maestro moderno de ciencia. Además de enseñar, predicar e investigar, Priestley escribió varios trabajos importantes sobre la teoría y la práctica de la educación.

Priestley fue criado en un entorno calvinista muy severo y perturbador.[6] Como era un disidente religioso, a finales de su adolescencia se le negó la entrada a las universidades de Oxford y Cambridge, así que asistió a la Academia Daventry, donde leyó a Locke, Newton, Hartley y muchas otras obras filosóficas, científicas y religiosas importantes de la época. La suya era una institución preocupada por "la búsqueda seria de la verdad" (Priestley, 1806/1970, p. 75).[7] Esta inquietud contrastaba notablemente con el clima escolástico que reinaba en las universidades consolidadas.[8] Allí adquirió fluidez en griego, latín, asirio y otros idiomas europeos, incluido, más adelante, el neerlandés.

A los 22 años de edad, fue ordenado ministro disidente; los deberes de esta vocación serían la ocupación central de su vida adulta. Fue pastor de varios pueblitos rurales, donde también estableció escuelas y se convirtió, tal vez, en el primer maestro de ciencia que incluyó el trabajo de laboratorio en la educación de los alumnos (Schofield, 1997, p. 79). Cuando se acercaba a los 30 años de edad, dio clases de lengua, historia, lógica y literatura en la Academia Warrington, donde también empezó a leer obras contemporáneas de química y de electricidad que complementaron sus primeras lecturas de la óptica y la astronomía de Newton.

A los 34 años de edad, fue llamado a ocupar el lugar de ministro de la capilla presbiteriana de Leeds, que era el centro de la reciente, y próspera, vida comercial e industrial de Yorkshire. Más tarde, dejó Leeds y trabajó durante cinco años como secretario y tutor de los hijos de lord Shelburne, un importante político liberal inglés que negoció el tratado de París que dio fin a la Revolución estadunidense. Mientras tuvo este empleo, viajó por Europa, y es famosa la historia de su encuentro en París, en octubre de 1774, con Antoine Lavoisier, con cuyo nombre el de Priestley quedó vinculado para siempre a causa de la controversia sobre el descubrimiento del oxígeno y el obstinado rechazo de Priestley a aceptar la "nueva" química del francés.[9] Priestley respaldó las revoluciones estadunidense y francesa, puesto que consideraba ambas el triunfo de la libertad sobre el poder sofocante y autocrático de la Iglesia establecida (ya fuera la

católica romana en el *ancien régime* francés, la anglicana en el Reino Unido o la luterana en Alemania y Escandinavia) y del Estado.[10] Rechazó públicamente las creencias trinitarias, a pesar de que tal rechazo era un delito grave, y fundó la secta unitaria. Publicó argumentos muy detallados en los que explicaba que la doctrina trinitaria de la Iglesia era producto de la corrupción de la filosofía helenística sobre la Iglesia cristiana primitiva (Priestley, 1786). Newton, por supuesto, compartía esta postura, pero nunca la hizo pública; el liberalismo de Priestley, y a fin de cuenta sus convicciones epistemológicas, lo llevaron a hacer algunas declaraciones muy públicas sobre el unitarismo: la verdad emerge a partir de la discusión y la defensa de las posturas.

Inglaterra nunca fue un lugar muy cómodo para los defensores de la Revolución francesa de 1789, y lo fue mucho menos una vez que la primera revolución "de la clase media" dio paso a la Comuna de París en 1792 e Inglaterra se unió a la contrarrevolución, la coalición reaccionaria que entabló una guerra con Francia en 1793. Así, a los 61 años, después de que su laboratorio y su biblioteca fueran destruidos por una masa enfurecida de reaccionarios en defensa "del Rey y de la Iglesia", y tras ver cómo eran encarcelados en Botany Bay algunos amigos cercanos, disidentes y liberales políticos, Priestley huyó de Inglaterra en 1794 y se refugió en Northumberland, en un lejano rincón rural de Pensilvania, donde pasó la última década de su vida escribiendo, sirviendo como ministro de la Iglesia y estableciendo vínculos prolíficos con políticos importantes, entre ellos Thomas Jefferson.[11] Murió en 1804, en su propia casa, que sigue en pie.[12]

Para Priestley, lo más importante en la vida era su trabajo como ministro cristiano, como afirmó desde su ordenación en 1755, a los 22 años, hasta su muerte a los 70.[13] Sin embargo, además de su activa vida clerical, Priestley publicó una enorme cantidad de obras significativas y eruditas sobre gran cantidad de temas, entre ellas más de 200 libros, panfletos y artículos sobre historia de la ciencia (específicamente la electricidad y la óptica), teoría política, teología, crítica bíblica, historia de la Iglesia, teoría del lenguaje, filosofía de la educación y retórica, así como química, por la que ahora es más conocido. Este *corpus* incluye cerca de 20 obras muy importantes en varios volúmenes, muchas de las cuales vieron segundas, terceras y cuartas ediciones. Los *Collected Works* [Obras reunidas] (en 25 volúmenes), que no incluyen todas sus publicaciones científicas, se encuentran en Rutt (1817-1832/1972). Parte de la correspondencia de Priestley puede encontrarse en la antología editada por Robert Schofield (1966). La fuente más accesible para algunas de sus obras más importantes es la antología de 350 páginas que editó John Passmore (Passmore, 1965).[14]

La vida de Priestley transcurrió durante los años centrales de la Ilustración europea, inspirada por los avances y las obras de los nuevos científicos: Bacon, Galileo, Huygens y, sobre todo, Isaac Newton.[15] De hecho, toda la Ilustración comenzó con la certeza de Newton, Locke, Hume y otros de que los métodos de la nueva ciencia debían aplicarse a las ciencias morales y políticas. Newton lo expresó en su *Óptica* como sigue: "y si la filosofía natural en todas sus partes, siguiendo este método, será perfeccionada por completo, también los límites de la filosofía natural serán ampliados" (Newton, 1730/1979, p. 405).[16] David Hume hizo eco a esta expectativa en el subtítulo de su famoso *Tratado sobre la naturaleza humana,* que dice así: *Un intento de introducir el método de razonamiento experimental en las cuestiones morales.* En el prefacio, afirma que sigue a los filósofos de Inglaterra que "han comenzado a llevar la ciencia del hombre por un nuevo camino" (Hume, 1739/1888, p. xxi).

Durante su tiempo en la Academia Daventry, Priestley leyó a Newton y Locke y a sus principales comentaristas, y fue allí donde comenzó a desarrollar su variante particular de la visión ilustrada del mundo. Era un cristiano devoto, no un deísta que creyera en un creador impersonal o en un "diseñador inteligente" que había puesto el mundo en marcha para luego dejarlo por su cuenta. Él creía en un Dios personal, y en forma simultánea desarrolló una visión del mundo racionalista y materialista que invitó, sistemáticamente, a sus investigaciones científicas y de otras clases y que a su vez se vio reforzada por este trabajo.

Priestley era un pensador polifacético y, como diríamos hoy, una "figura pública"; tenía intereses asombrosamente diversos, pero sobre todo buscaba en forma explícita encontrar coherencia y unidad intelectual en su actividad académica, personal, religiosa y política. Newton había establecido que la misma ley de la atracción se aplicaba en la Tierra y en los cielos. Priestley pensaba que la misma sencillez de una ley podía aplicarse a los ámbitos sociales y mentales (psicológicos), en parte porque en todos estos ámbitos sólo existía una materia o sustancia. Era un defensor convencido de la tradición materialista de la Ilustración y un monista ontológico que rechazaba cualquier dualismo en la filosofía natural, la psicología y la religión.[17] No creía que existieran múltiples tipos de sustancias en el mundo: recurrir a "fluidos imponderables", incluido el calórico de Lavoisier, para explicar fenómenos magnéticos, eléctricos, ópticos o caloríficos era tanto innecesario (pues no explicaba nada, y los fenómenos podían atribuirse a ciertos movimientos de las partículas, como mantenían los atomistas) como fantasioso, puesto que no existían estas sustancias ("fluidos" inmateriales). Dijo, sobre el supuesto fluido eléctrico: "no existe ningún fluido eléctrico, y la electrificación no es más que alguna [nueva] modificación de la materia de la que está conformado cualquier cuerpo antes de

esa operación” (Schofield, 1966, p. 58).[18]

La epistemología de Priestley (el empirismo) estaba emparentada, en su opinión, con su ontología (el monismo materialista) y ambas lo estaban con su teología (el unitarismo) y con su psicología (el asociacionismo). Todo esto influía sobre su teoría política y social (el liberalismo). Era un pensador deliberadamente sinóptico o sistemático: el conocimiento y la vida eran un todo y debían tener relaciones mutuas coherentes. Que Priestley haya alcanzado la coherencia que buscaba ha sido materia de debate. Desde el principio, muchos comentaristas han rechazado que existiera coherencia entre el materialismo ontológico de Priestley y sus creencias cristianas. Buscar la coherencia y encontrarla son, por supuesto, dos cosas totalmente diferentes.

Priestley estaba comprometido con una cosmovisión cristiana influida por la filosofía natural que fue desarrollando a lo largo de su obra. En el prefacio de su *History of Electricity* [Historia de la electricidad] puede leerse una expresión parcial:

> Un filósofo [científico] debería ser algo superior, y mejor que cualquier otro hombre. La contemplación de las obras de Dios debería hacer su virtud sublime, extender su benevolencia, extinguir cualquier cosa mezquina, abyecta y egoísta en su naturaleza, otorgarle dignidad a todos sus sentimientos y enseñarle a aspirar a las perfecciones morales del gran autor de todas las cosas [...] Una vida pasada en la contemplación de los productos del poder, la sabiduría y la bondad divina sería una vida de devoción [Priestley, 1767/1775, prefacio].

Según esta cosmovisión, la búsqueda de lo que hoy llamamos conocimiento “científico” era una virtud religiosa, casi una obligación: ignorar el mundo era ignorar la obra de Dios; descubrir cosas sobre él era respetarla y honrarla. En todo caso, existía la obligación religiosa de no impedir el avance del conocimiento, y de no obstaculizar o suprimir la verdad. Y puesto que el autoritarismo y el absolutismo eran opuestos a la búsqueda de la verdad había que resistirse a ambos, en las iglesias y en los estados. Para Priestley, la religión y la epistemología estaban combinados, eran codependientes. A diferencia de lo que muchos sostienen el día de hoy, para Priestley el conocimiento religioso no era un tipo de conocimiento distinto, con una epistemología diferente; no era, en el siglo XVIII, un exponente de los “magisterios que no se superponen”.

Priestley no comenzó a estudiar química seriamente sino hasta comienzos de su tercera década de vida, cuando fungía como ministro en la capilla prebisteriana de Leeds (1767-1773). Mediante un nuevo método para recolectar los "aires" sobre el agua y el mercurio, y gracias a un enorme espejo ustorio como fuente de calor,[19] Priestley pudo crear, aislar y enumerar en rápida sucesión las propiedades de una docena o más de "aires" principales.

Las conferencias de 1772 en la Royal Society

Los experimentos y las investigaciones con aire que Priestley llevó a cabo en Leeds fueron anunciados ante el mundo académico en una serie de conferencias que dictó en la Royal Society de Londres en marzo de 1772. Más tarde ese mismo año, las conferencias se publicaron en forma de un famoso artículo de 118 páginas en las *Philosohpical Transactions* de la Sociedad, titulado "Observations on different kinds of air" [Observaciones sobre diferentes clases de aires] (Priestley, 1772a).[20] Este artículo se tradujo a varios idiomas europeos; se leyó asiduamente —Lavoisier fue uno de sus lectores— y, en 1773, se premió con la codiciada Medalla Copley de la Royal Society, el equivalente del premio Nobel del siglo XVIII.[21] Priestley desarrolló el artículo, con nuevos experimentos, en forma de una obra en tres volúmenes, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* [Experimentos y observaciones acerca de distintos tipos de aire] (Priestley, 1772b). Estas obras consolidaron a Priestley como el indiscutible "padre de la química neumática".

El 21 de febrero de 1770, le escribió a su íntimo amigo y compañero unitario de toda la vida, Teophilus Lindsey (1723-1808), que "ahora estaba empezando a ocuparse de algunas de las investigaciones del Dr. Hale relativas al aire" (Schofield, 1997, p. 237). Como escribió en su conferencia ante la Royal Society:

> La cantidad de aire que requiere incluso una flama muy pequeña para seguir ardiendo es prodigiosa. Suele decirse que una vela ordinaria consume lo que se llama un galón en un minuto. Considerando este sorprendente consumo de aire, por fuegos de todas clases, volcanes, etc., se vuelve un importante objeto de investigación filosófica determinar qué cambio opera la flama en la constitución del aire, y descubrir qué disposición existe en la naturaleza para remediar las heridas que se infligen a la atmósfera por estos medios. Algunos de estos experimentos permitirán, tal vez, arrojar un poco de luz sobre el tema [Priestley, 1772a, p. 162].

La cosmovisión cristiana de Priestley era la que motivaba esta búsqueda: tras cientos de siglos de respiración animal y humana, además de los volcanes y los incendios

naturales, la atmósfera debería volverse poco a poco inhóspita para la vida humana, pero había razones teológicas para que esto no sucediera. Un creador caritativo, todopoderoso, no diseñaría un mundo como ése; Dios debe haber tomado previsiones para la restauración natural del aire.

La primera idea, o hipótesis, de Priestley fue una de sentido común: puesto que el aire es necesario tanto para la vida animal como para la vegetal, tanto los animales como las plantas deben procesarlo del mismo modo. Sin embargo, la experimentación lo llevó a rechazar esta idea. Como escribió:

> Uno se imaginaría que, puesto que el aire común es necesario para la vida vegetal así como animal, tanto las plantas como los animales la afectarían del mismo modo, y admito que tenía esas expectativas cuando puse un ramito de menta en una jarra de vidrio colocada en forma invertida sobre un recipiente de agua; pero puesto que siguió creciendo allí durante unos meses encontré que el aire ni extinguía una vela ni le resultaba para nada inconveniente a un ratón, que coloqué allí [Priestley, 1772a, p. 162].

Las investigaciones de Priestley rindieron frutos, y el 23 de agosto de 1771 le escribió de nuevo a Lindsay, diciendo: “He descubierto lo que he buscado largamente, a saber, el proceso en la naturaleza mediante el cual, tras haberse vuelto pernicioso mediante la respiración, el aire es restaurado a su anterior condición salubre” (Schofield, 1966, p. 133). En su conferencia ante la Royal Society Priestley dijo:

> Esta observación me llevó a concluir que las plantas, en vez de afectar el aire de la misma forma que la respiración animal, revierten los efectos de la respiración, y tienden a mantener la atmósfera agradable y sana, cuando había sido perniciosa a consecuencia de los animales viviendo y respirando, o muriendo y pudriéndose en ella [Priestley, 1772a, p. 166].

Priestley de hecho sugirió un mecanismo para este benéfico efecto: “esta restauración del aire viciado es afectado por las plantas que absorben la materia flogística con la que está sobrecargado por la combustión de los cuerpos inflamables” (Priestley, 1775-1777, vol. 1, p. 49), pero respetando su estricto principio epistemológico de sólo otorgarle un estatus cauteloso o provisional a los mecanismos invisibles, conjeturados, añadió: “existan o no bases para esta conjetura, el hecho es, me parece, indiscutible” (Priestley, 1775-1777, vol. 1, p. 49). Esta distinción entre los hechos observacionales, sobre los cuales puede y debe haber concordancia, y los mecanismos invisibles, supuestos, era fundamental para Priestley. Dicha distinción aparece muchas veces en sus escritos. Por ejemplo, en una carta de 1779 a Giovanni Fabroni con respecto a las plantas que crecen en el aire inflamable, dice: “Este hecho me parece bastante extraordinario. Debe ayudarme a explicarlos, puesto que soy un muy mal teórico” (Schofield, 1966, p. 171). Su insistencia en esta distinción entre los hechos y las interpretaciones era tal, que a veces ha sido llamado “protopositivista”. La discusión filosófica ha sido, durante mucho tiempo, si los “hechos del caso” pueden articularse o describirse sin recurrir a la teoría.

El artículo de 1772 es un *tour de force,* y se considera con justicia un parteaguas en la historia de la ciencia. Describe cómo Priestley fabrica agua carbonatada (agua de Pyrmont); cómo crea oxígeno, aunque no lo reconoce, al agitar salitre (nitrato de potasio); cómo emplea óxido nítrico para probar la "bondad del aire" y, en último lugar pero no menos importante, cómo identifica los mecanismos para la restauración de la "bondad del aire". Cualquiera de estos logros probablemente le habría valido, por sí mismo, la Medalla Copley.

Las pruebas de la bondad del aire

Un paso importante para entender el proceso mediante el cual las plantas restauraban el aire (la fotosíntesis) fue tener alguna prueba cuantitativa de la "bondad del aire". Sin ella, era como afirmar que un proceso hacía algo más pesado o más largo sin básculas o cintas métricas que indicaran cuánto más pesado o largo se había hecho. El nuevo aire nitroso de Priestley le proporcionó el instrumento cuantitativo que necesitaba.

Priestley tomó un volumen determinado de aire nitroso indisoluble e incoloro, lo mezcló con el doble de dicho volumen de aire común indisoluble e incoloro, esperó a que ocurriera la reacción que formó un vapor nitroso marrón y soluble, y luego agitó el aire así producido sobre agua y midió el aumento en el nivel del agua en el frasco recolector para determinar cuánto se disolvía. En términos modernos, el aire nitroso (NO) se combinó con el oxígeno (O_2) en el aire para formar dióxido de nitrógeno (NO_2), turbio y de color rojizo. Mientras más subía el agua, más oxígeno se había consumido y, por lo tanto, mayor era la "bondad" del aire en la muestra. En esto consistió su famosa, y muy usada, prueba del aire nitroso (óxido nítrico, NO) para la bondad del aire (Boantza, 2007, pp. 513-516).

Cuando Priestley se fue de Leeds en 1773 para comenzar a trabajar como bibliotecario, acompañante y tutor de los hijos de lord Shelburne, había colocado en su lugar muchas piezas del rompecabezas de la "restauración del aire". En las décadas de 1770 y 1780, volvería al rompecabezas y colocaría algunas piezas más. Los "experimentos y observaciones" que Priestley llevó a cabo en 1778 le permitieron refinar sus descripciones de 1772 sobre la restauración del aire. Escribió:

> En general, los experimentos de ese año resultaron poco favorables para mi hipótesis previa. Puesto que cuando hice los experimentos con aire afectado por la respiración, por la quema de velas o por cualquier otro proceso flogístico [el aire] no se hacía mejor sino peor.
>
> Cuando las plantas no sirvieron para mejorar el aire, por lo general se enfermaron de forma ostensible o al menos no crecieron y se desarrollaron, como hicieron notablemente en mis primeros experimentos en Leeds; la razón para ello no consigo descubrirla [Priestley, 1779-1786, vol. I, p. 298, en Nash, 1948, p. 359].

Uno de sus problemas fue la falta de luz: los experimentos que llevaba a cabo al aire libre daban mejor resultados que los que hacía en interiores, en particular cuando estaban lejos de una ventana. Tuvo que aminorar un poco el grado de convicción que había depositado en el poder restaurador de la vegetación; al respecto dijo:

> En términos generales, sigo pensando que es probable que la vegetación de plantas saludables, cuando crece en situaciones que le son naturales, tiene un efecto salutífero sobre el aire en el que crecen. Pues un caso claro del mejoramiento del aire en estas circunstancias debería sopesarse contra cien casos en los que el aire empeora por ellas, tanto a causa de las muchas desventajas en las que trabajan las plantas, las circunstancias en las que deben hacerse estos experimentos, así como la gran atención, y las muchas precauciones, que se requieren para llevar a cabo un proceso como éste. No conozco otros experimentos que requieran tanto cuidado [Priestley, 1779-1786, vol. I, p. 299, en Nash, 1948, p. 360].

Unos meses después de escribir esta carta, mientras trabajaba en diversas tareas filosóficas, teológicas y políticas, estaba preparado para pensar un poco más en la fuente del aire puro que, según sus observaciones, la materia vegetal y las plantas liberaban dentro de su redoma. Al principio pensó que provenía de la materia verde o de las hojas, pero pudo idear una linda prueba experimental para esta hipótesis. En septiembre de 1779, le escribió a su buen amigo Benjamin Franklin (1706-1790) para contarle que:

> Aunque estás tan ocupado con asuntos de mayor importancia [elaborar el borrador de la Declaración de Independencia de Estados Unidos], sé que te agradará que te informe que he tenido un enorme éxito en mis experimentos desde la publicación de mi último volumen *[Experiments and Observations on Different Kinds of Airs]* [Experimentos y observaciones acerca de distintos tipos de aire].
>
> He confirmado, explicado y ampliado mis observaciones anteriores sobre la purificación de la atmósfera por medio de la vegetación; habiendo descubierto primero que la materia verde de la que me ocupo en mi último volumen es una sustancia vegetal, y luego que otras plantas que crecen enteramente en el agua tienen la misma propiedad, todas las cuales, sin excepción, absorben aire puro y lo emiten, para ellas en forma de

excremento, en un estado desflogistado [Schofield, 1966, pp. 178-179].

Otros experimentos confirmaron que la materia verde, así como las hojas acuáticas de ese color, sólo producían aire puro en presencia de luz del sol; el calor no podía sustituirla. Así, recuperó, y de hecho extendió, la hipótesis vegetal: la vegetación no sólo restablecía el aire atmosférico empobrecido por los incendios y la respiración animal; también el agua que había disuelto el aire insano y cuyo aire disuelto se iba volviendo dañino por la respiración de los peces. La investigación de Priestley sobre el restablecimiento del aire prácticamente se detuvo en este punto. Casi todos los elementos de lo que en el siglo XIX se llamaría "fotosíntesis" estaban ya esbozados.[22]

Priestley estaba consciente de la necesidad de contar con grupos de control, de identificar y controlar las variables de los experimentos y de ser cuidadoso al extraer conclusiones definitivas de los experimentos en filosofía natural. Todo esto resulta incongruente con la imagen de Priestley como un "dogmático de mente estrecha" que Thomas Kuhn popularizó en forma tan indiferente e injusta. Los alumnos no deberían pasar por alto esta incongruencia; es una lección sobre la importancia de ser cuidadosos con lo que leen en los textos sobre historia, filosofía y enseñanza, y lo que escuchan en clases y conferencias.

Del mismo modo que el ejemplo del péndulo, lo que se sugiere aquí es que los temas y los problemas filosóficos (metodológicos, ontológicos, metafísicos y epistemológicos) deben identificarse y discutirse al nivel y en la circunstancia educativa apropiados para los alumnos cuando están aprendiendo sobre fotosíntesis. Como se argumentará en el capítulo XI, los maestros deberían preocuparse menos por qué es "la naturaleza de la ciencia" y pensar más sobre cómo incluir las "características de la ciencia" en sus clases mientras enseñan temas científicos. Algunas de las características que asoman ostensiblemente en un enfoque histórico de la enseñanza de la fotosíntesis, inspirado en el trabajo de Priestley, son al menos las que siguen.

Metafísica y ciencia

Hacia finales del siglo XVI, Aristóteles era la figura más importante en la historia del pensamiento occidental. Entre todos sus méritos se cuenta haber fundado la ciencia biológica. Era un observador increíblemente cuidadoso del mundo natural, y escribió cinco libros sobre animales y uno sobre plantas.[23] Sin embargo, durante 2 000 años hubo dos posturas aristotélicas científico-filosóficas —la primera, su descripción de la nutrición de las plantas; la segunda, su descripción de la naturaleza elemental del aire— que bloquearon el descubrimiento y la formulación de una explicación correcta de la "restauración del aire" (la fotosíntesis). Ambas posturas aristotélicas emergieron de su defensa fundamental del sentido común basado en la observación como los cimientos de la filosofía natural. Un aristotélico contemporáneo escribe: "En un esfuerzo por entender la naturaleza, la sociedad y al hombre, Aristóteles comenzó donde todos deberíamos hacerlo: con lo que ya sabía, a la luz de su experiencia ordinaria y cotidiana" (Adler, 1978, p. xi).

En su libro *De las plantas,* Aristóteles observa los paralelismos entre plantas y animales, y dice: "la absorción de alimento ocurre de acuerdo con un principio natural, y es común tanto a animales como a plantas […] y a los animales y las plantas debe proveérseles con alimentos similares en clase a ellos mismos" (Barnes, 1984, vol. 2, p. 1253). En su tratado *Acerca del alma,* menciona cómo son alimentadas las plantas: "lo que es la cabeza para los animales eso son las raíces para las plantas, si es que hemos de considerar idénticos por sus funciones a órganos que son diversos" (Barnes, 1984, vol. 1, p. 662) [Madrid, Gredos, 1978, pp. 59-60]. Tanto las raíces de las plantas como las bocas de los animales tienen la función de absorber alimento. Las plantas tienen la cabeza, por así decirlo, enterrada en la tierra, lo cual concuerda con la comprensión ingenua e inmediata de la gente, y también con sus prácticas agrícolas: las plantas se

construyen a sí mismas a partir de semillas al consumir alimentos y agua del suelo a través de sus raíces. Ésta fue la base de la comprensión "analogista" de las plantas. Muy lentamente los investigadores "experimentalistas" del siglo XVII, que tomaron como su modelo no la observación aristotélica de las plantas sino los experimentos de tipo baconiano y galileano con ellas, comenzaron a desenmarañar esta visión de sentido común (Delaporte, 1982).

El segundo obstáculo conceptual para comprender la fotosíntesis era la noción aristotélica del aire. Hasta la época de Priestley, la idea del aire como un elemento único, fundamental e indivisible dominó la ciencia (la filosofía natural) y, por supuesto, también la vida cotidiana. En la cosmovisión o esquema aristotélico, el agua era otro de estos elementos singulares (así como la tierra y el fuego). Ya se había reconocido que no todo el aire era igual: del mismo modo que el agua podía estar sucia y fétida, el aire podía estar contaminado por humo, polvo, putrefacción, etc.; así ocurría con el aire malo de las minas, los pantanos, las cárceles, etc. Sin embargo, no se pensaba en los malos aires como un compuesto, sino, en términos modernos, como una mezcla; como ocurría con el agua sucia, las impurezas se añadían al aire y permanecían en él hasta que era filtrado. Torricelli, Boyle, Pascal, Von Guericke y otros habían estudiado las propiedades o la física del aire —en particular, la presión atmosférica y sus vínculos con la altura y la compresibilidad del aire—, pero no su composición. Como se mencionó en el capítulo IV, la categoría "elemental" de Aristóteles actuó como un "obstáculo epistemológico" para estas investigaciones. Priestley expresó con elocuencia sus ideas en su famosa *Experiments and Observations on Different Kinds of Air:*

> Existen, me parece, muy pocas máximas en filosofía tan sólidamente afianzadas en la mente como aquella de que el aire atmosférico (libre de varias materias extrañas, que siempre se suponen haber sido disueltas y mezcladas con él) es una sustancia elemental simple, indestructible, e inalterable, al menos en la misma medida en la que se supone que el agua lo es [Priestley, 1775-1777, vol. II, p. 30].

Como exploraremos en el capítulo X, en la época de Priestley esta sensata imagen aristotélica estaba comenzando a agrietarse. La visión mecánica del mundo de Galileo, Boyle, Newton y la nueva ciencia estaba volviendo inútil el panorama metafísico aristotélico y su programa científico correspondiente para explicar el mundo en términos de naturalezas, formas y esencias que transforman la materia de acuerdo con potenciales teleológicos internos. En el mundo aristótelico, una bellota contenía el potencial del árbol, y este potencial dirigía el desarrollo de la semilla para que produjera un árbol de roble y no un platanero o un rosal. Con la extinción de la metafísica aristotélica, la idea del aire y el agua como elementos fundamentales y homogéneos se volvió contingente y discutible; era algo que podía investigarse mediante procedimientos empíricos, tal como sucedió.

La nueva ciencia legitimó, además de las críticas filosóficas de la metafísica aristotélica, la investigación experimental de la naturaleza; ya no estaba limitada por las restricciones aristotélicas para interferir con la naturaleza. Para Aristóteles, la filosofía natural consistía en estudiar los "movimiento naturales", no los "movimientos violentos"; los experimentos, que constreñían la naturaleza, provocaban movimientos antinaturales y, por lo tanto, no arrojaban luz sobre los procesos naturales.[24]

Johann Baptista van Helmont (1577-1644), médico flamenco y personaje fronterizo entre la alquimia y la química, había publicado su famoso experimento del sauce, que demostró que, a lo largo de un periodo de cinco años, un vástago de sauce plantado en una maceta había aumentado 74 kg de "material arbóreo", al parecer únicamente mediante la adición de agua (Helmont, 1648). Así, el agua parecía convertirse en madera, un material terrestre; el agua se "transmutaba" en tierra, como lo expresó el alquimista.

Robert Boyle (1627-1691), el conocido filósofo natural inglés, y menos conocido alquimista, usó los experimentos de van Helmont en su detallada crítica del sistema metafísico aristotélico, publicada en 1661, *The Sceptical Chymist* [El químico escéptico]. Hizo crecer plantas en agua, eliminando así la maceta de tierra de Helmont, y encontró el mismo efecto: la planta creció (tuvo un incremento en material terrestre) con sólo añadir agua. El resultado fortaleció la convicción del alquimista de que el agua podía convertirse en tierra y refutó así la idea aristotélica de que eran elementos separados. Se trató de otro caso en el que la práctica científica obligó a hacer un ajuste metafísico.

El clérigo inglés Stephen Hales (1677-1761), en su *Vegetable Staticks* [Estadísticas vegetales], de 1727, reconoció experimentalmente que el aire literalmente entraba en las plantas cuando crecían, y a su vez era emanado por ellas. La visión del mundo que motivó e inspiró su investigación cuantitativa y experimental de la naturaleza era la cristiana, predominante por entonces:

> Puesto que […] el Creador omnisciente observó las proporciones más exactas de número, peso y medida, en la creación de todas las cosas; la manera más probable, pues, de obtener información sobre la naturaleza de esas partes de la creación, que se encuentran al alcance de nuestra observación, debe con toda razón ser numerar, pesar y medir [Hales, 1727, p. 1, en Scott, 1970, p. 44].

El químico escocés Joseph Black (1728-1799) aisló e identificó el dióxido de carbono o "aire fijo", como lo llamó, al calentar mármol (carbonato de calcio) en 1756.[25] Reconoció que se trataba de un aire totalmente distinto al aire atmosférico; enturbiaba la leche de cal y no sostenía la combustión. Un colega escribió, sobre el descubrimiento de Black, que:

> Descubrió que cerca de la mitad del peso de una pulgada cúbica de mármol consistía en cal pura y en tanto

> aire como el que entraría en un recipiente que contuviera seis galones de vino […] Qué era más singular que hallar que una sustancia tan sutil como el aire existía en forma de una roca dura, y que su presencia estuviera acompañada por un cambio tal en las propiedades de la roca [Leicester, 1956/1971, p. 134].

Así nació la idea de que existían diversos aires separados; el término "gas", acuñado por Van Helmont, no solía usarse. Sin embargo, a pesar de estos avances la idea de que el aire atmosférico común era un compuesto de aires (gases) no estaba para nada extendida. Incluso en 1771, el químico francés Turgot escribía sobre el aire como una "sustancia ponderable que entra constantemente en el estado de vapor o fluido expansivo según el grado de calor que contenga" (Brock, 1992, p. 102).

La ciencia y las visiones del mundo

En su *Project 2061,* la American Association for the Advancement of Science (AAAS) reconoce la importancia educativa de encontrar vínculos entre la ciencia y las visiones del mundo: "Reconocer el impacto de los avances científicos y tecnológicos sobre las creencias y los sentimientos humanos debería ser parte de la enseñanza de la ciencia para todos" (AAAS, 1989, p. 173). El enfoque histórico en la enseñanza de la fotosíntesis establece un contexto para la discusión y el desarrollo de estos temas abstractos.

El ampliamente citado discurso de Pringle al aceptar la Medalla Copley transmite con precisión el sentido generalizado de diseño cósmico, la teleología y las finalidades antropocéntricas que conformaron la cosmovisión de Priestley y la de casi todos los filósofos naturales de la época. Son célebres las ideas del diseño y la Providencia que articuló otro contemporáneo de Priestley, William Paley (1743-1805), cuya *Natural Theology* [Teología natural] (Paley, 1802/2006) fue un texto obligatorio para todos los alumnos de Cambridge y Oxford. Era natural que para la mayor parte de las personas la creencia en un Creador caritativo diera origen a una arraigada idea de Providencia. Dios era absolutamente ubicuo en la filosofía natural medieval y moderna temprana; para todos los filósofos naturales, la naturaleza estaba en el primer plano de sus investigaciones, pero Dios estaba en el fondo; sencillamente asumían que estaban estudiando la obra de Dios, del mismo modo que alguien que estudie hoy un reloj está consciente de que analiza lo que hizo alguien más, y que lo que observa refleja un buen o mal diseño o habilidad artesanal.[26]

Diversos autores consideraron que la Providencia actuaba en tres niveles: regía el mundo natural (los terremotos, tormentas, etc.); controlaba la historia humana (el resultado de las guerras, etc.), y finalmente operaba sobre las vidas humanas (la recuperación de enfermedades, los accidentes, etc.). Para los musulmanes, "Si Dios lo quiere…" sigue prologando cualquier afirmación sobre acontecimientos futuros. Priestley

compartió esta ubicua visión del mundo. En su *First Principles of Government* [Primeros principios del gobierno] escribió:

> Tanto creo en la doctrina de una Providencia que lo domina todo que no tengo duda de que todo en el sistema de la naturaleza, por más dañino que pueda ser en ciertos aspectos, tiene usos reales, aunque desconocidos; y también que todo, hasta los más crasos abusos en las constituciones civiles o eclesiásticas de estados particulares, está al servicio de Sus sabios y graciosos designios, que, a pesar de estas apariencias, aún rige los reinos del hombre [Miller, 1993, p. 6].

La investigación de Priestley sobre el restablecimiento del aire galvanizó su visión del mundo. Esto demostraba para él que la naturaleza está tan maravillosamente formada que "el bien nunca deja de surgir a partir de todos los males a los que, a consecuencia de leyes generales, las más benéficas para el todo, está necesariamente sujeto" (Priestley, 1774-1786, vol. II, p. 63). En sus *Memorias* escribió que la mayor virtud de los estudios científicos era su tendencia "en un grado eminente, a fomentar un espíritu de piedad, al excitar nuestra admiración del orden maravilloso de las Obras Divinas y la Divina Providencia" (Priestley, 1806/ 1970, p. 200). Además, y con los infieles filosóficos de la Ilustración en mente (tal como Isaac Newton los había tenido al escribir los *Principia*), Priestley añade que aquellos de "talante especulativo" no podrían evitar la percepción y admiración de "esta muy maravillosa y excelente disposición" (Priestley, 1806/1970, p. 200).

El tema más importante en la discusión sobre la ciencia y sus visiones del mundo es cómo (y si) la ciencia respalda o contradice cualquier cosmovisión particular.

Razonamiento abductivo

El argumento de Priestley en defensa de una visión providencial del mundo se entiende mejor, no como un argumento *deductivo* (que claramente resultaría inválido) ni como una inferencia *inductiva* (el argumento no es una parte de un todo), sino como un argumento *abductivo,* para usar el término que inventó Charles Sanders Peirce a finales del siglo XIX (Aliseda, 2006). Más recientemente, este tipo de argumento ha sido llamado "inferencia de la mejor explicación" (Lipton, 1991; Psillos, 2004). Su estructura es la que sigue:

> Existe una observación bien documentada *O* sobre el mundo.
> Si alguna teoría o supuesto *T* fueran ciertos, entonces se esperaría que *O* fuera el caso.
> Por lo tanto, *O* proporciona bases para creer en la validez de *T*.

El último paso que dio Priestley para pasar de la comprensión de los procesos naturales al conocimiento de las propiedades divinas (sobrenaturales), del conocimiento

del mundo al conocimiento de Dios, fue la inferencia, estándar en la teología natural (la especulación teológica que era independiente de la revelación). En el siglo XVIII, fue un paso que dieron casi todos los filósofos naturales.

En su *History of Electricity* [Historia de le electricidad], Priestley escribió: "La investigación de los poderes de la naturaleza, como el estudio de la Historia Natural, nos sugiere perpetuamente vistazos de las perfecciones y la Providencia divinas, que son tanto agradables a la imaginación como edificantes para los corazones" (Priestley, 1767/1775, p. iv).

Priestley se dio cuenta de que este paso no era convincente en términos lógicos, no era demostrativo. Era "sugerente", pero psicológicamente "no podía evitarse". En el siglo XVIII, ambas cosas eran ciertas, dado el conocimiento del contexto y la cultura, pero ni siquiera entonces, y por supuesto ahora, ese paso era lógicamente convincente: no era demostrativo. Priestley sabía bien que el paso de la observación de la naturaleza a los mecanismos naturales invisibles no producía un conocimiento incontestable. Aristóteles y los estudiosos medievales reconocieron la misma limitación en esta forma argumental; sabían que un argumento como el que sigue es inválido:

T (la teoría) implica *O* (la observación)
O (ocurre la observación)
Por lo tanto, *T* (es verdadero).

El argumento incurre en la falacia de la afirmación del consecuente (también conocida como *modus ponens*): muchas otras *T*s también implicarían *O*, de modo que una *T* particular no es probada cuando ocurre *O*. Como consecuencia, el paso de la observación a los mecanismos *sobrenaturales* era aún menos convincente.

El "argumento de la mejor explicación" puede ejemplificarse con uno de los casos de Pierce: si encontramos fósiles de peces tierra adentro, lejos de la orilla actual del mar (*O*), podemos abducir la teoría o la hipótesis de que el océano alguna vez cubrió esa área (*T*). Esta teoría ofrece actualmente la mejor explicación de *O*. Así, *O* brinda apoyo para creer en *T*. Este típico ejemplo de razonamiento científico no es deductivo ni inductivo; Peirce lo llamó "abductivo" y, por supuesto, reconoció que no era demostrativo (Peirce, 1931-1935, vol. 2, p. 629). La observación *O* brinda apoyo para creer en *T;* no prueba que *T* sea verdad. El proceso comienza con la suposición científica de que tiene que haber *alguna* explicación para *O;* en ciencia también existe la suposición de que hay una explicación *natural* para *O;* las mejores explicaciones *sobre*naturales no se permiten, como profundizaremos en el capítulo X; son descartadas a causa del compromiso con el *naturalismo metodológico.*

Para Priestley, *O* era el restablecimiento del aire, y *T* era su visión cristiana del mundo. Ésta ofrecía la mejor explicación para los fenómenos observados. Priestley sabía

que las inferencias de las mejores explicaciones seguían siendo tentativas, y no demostrativas. Sin embargo, la inferencia tenía un sustento más: Priestley era un creyente apasionado de la revelación cristiana; pasó toda su vida siendo un clérigo cristiano y un estudioso serio de las escrituras. Para él, las dos clases de premisas —la observación de la naturaleza más la revelación correctamente interpretada— justificaban en suma una inferencia convincente de la agencia divina o sobrenatural como la mejor explicación de las observaciones y los efectos que su ciencia revelaba.

Sin embargo, medio siglo después de la muerte de Priestley la obra de Darwin desafiaría seriamente, y para muchos socavaría por completo, la imagen teísta de un mundo natural providencial. Esto ocurrió al menos con el nivel *natural* de la acción providencial, puesto que el darwinismo no tenía nada que decir sobre los niveles *históricos o personales.* Las observaciones de Priestley sobre los procesos naturales, tales como el papel de la vegetación en el restablecimiento del aire, se sostendrían, pero cada vez habría menos coincidencias sobre sus explicaciones teológicas de las observaciones. Después de Darwin era perfectamente normal reconocer que existía adaptación sin diseño; había una "mejor explicación" para la existencia de *O* que rivalizaba con las anteriores y que era una explicación natural; no necesitaba recurrir a una agencia sobrenatural. Muchos renunciaron a sus creencias judeocristianas (e islámicas); muchos conservaron la creencia *sans* Providencia; muchos otros, como los defensores modernos del "diseño inteligente", reinterpretaron la Providencia para adaptarla a un mundo que parece funcionar "en forma independiente".[27]

Materialismo

Priestley ofrece abundantes oportunidades para desarrollar y evaluar una antigua postura ontológica de la filosofía: el materialismo. Priestley creía en un único Dios en el cielo y una sola materia en la Tierra. Era un materialista: su ontología no admitía espíritus, almas o mentes de ninguna clase ontológicamente distinta de la materia.[28] Era un monista ontológico; escribió: "¿Qué excelencia peculiar hay en esas partículas de materia que componen mi cuerpo que exceda las que componen la mesa sobre la cual escribo? […] Si supiera que cambian de lugar instantáneamente, y sin que experimente ninguna sensación de dolor, no creo que me preocupara en lo absoluto" (Gibbs, 1967, p. 99).

En la introducción de su edición de *Hartley's Theory of the Human Mind* [La teoría de Hartley de la mente humana], Priestley escribe: "Prefiero pensar que el hombre entero es de una composición uniforme, y que la propiedad de la percepción, así como los otros poderes que se llaman mentales, son resultado (ya sea necesario o no) de una estructura orgánica como la del cerebro" (Priestley, 1775, p. xx).

> Si bien parece una contradicción, el suyo era un materialismo cristiano, como demuestra claramente cuando reflexiona sobre el impacto de sus escritos: "La consecuencia (que ahora disfruto) es una gran multiplicación de los materialistas; no del tipo ateo, como algunos aún lo sostienen, sino de los más serios, los cristianos más racionales y congruentes" [Passmore, 1965, p. 169].

Priestley rechazaba la creencia de que el alma existe fuera del cuerpo; se trataba de "una falsa filosofía del Este" y no tenía ningún sustento en las escrituras. Consideraba que creer en un alma independiente e individual, y la ontología que exigía creer en materia y espíritu por separado, era totalmente antihebraico y anticristiano, y la raíz de la mayor parte de las aberraciones, fantasías y corrupciones en las iglesias cristianas. En 1778, le escribió al reverendo Rotherham: "Yo era arriano hasta que fui a Leeds, y mi Materialismo es bastante tardío, aunque puede ver que ahora considero que la doctrina del alma fue importada al cristianismo, y que es la base de las corrupciones capitales de nuestra religión" (Priestley, 1806/1970, p. 40).

Para Priestley, creer en el alma no sólo era anticristiano; no era más que un disparate filosófico. Para que el alma tuviera sentido filosófico había que adoptar alguna versión del platonismo o del aristotelismo, y él rechazaba ambas.

La ética y los experimentos con animales

Hasta que Priestley hizo su nueva prueba del aire nitroso, los únicos medios disponibles para determinar la "bondad del aire" eran variantes del canario de la mina: lo ordinario era que se depositara un ratón de laboratorio en un contenedor cerrado para probar el aire, y su "bondad" se medía en función de cuánto vivía el ratón. La prueba del ratón atizó las reacciones románticas y humanistas contra la nueva ciencia, tan dramáticamente captadas por Joseph Wright de Derby en su evocador cuadro de 1768 *An Experiment on a Bird in the Air Pump* [Un experimento sobre un ave en la bomba de vacío]. En él, un ave yace muerta de asfixia en un frasco al que se le ha extraído el aire, mientras un público pensativo observa y una mujer desvía la mirada, sugiriéndole al observador que "la ciencia no es para mujeres".

Priestley también se encontró con esta reacción: Anna Lateitia Aikin, la hija de un amigo cercano y admiradora de Priestley, publicó en 1773 un libro de versos que contenía un poema titulado "The mouse's petition" [La súplica del ratón], sobre un ratón que encontró en una jaula del estudio de Priestley. Ella conocía la naturaleza de sus experimentos y también su defensa de la libertad humana, así que escribió este texto y lo puso junto a la jaula para provocarlo.[29]

O hear a pensive prisoner's prayer,

For liberty that sighs;
And never let thine heart be shut
Against the wretch's cries!

For here forlorn and sad I sit,
Within the wiry grate;
And tremble at the approaching morn,
Which brings impending fate.

It e'er thy breast with freedom glowed,
And spurned a tyrant's chain,
Let not thou strong oppressive force
A free-born mouse detain!

[¡Oh, escucha el ruego de un pensativo prisionero
Que suspira por su libertad;
Y nunca dejes que tu corazón sea sordo
A los gritos de este miserable.

Pues aquí me siento, triste y desolado
Dentro de las ásperas rejas;
Y tiemblo ante la mañana que se aproxima
Con mi destino inminente.

Si alguna vez la libertad latió en tu pecho
Y desdeñó las cadenas de un tirano,
¡No dejes que tu enorme y opresiva fuerza
Encarcele a un ratón que nació libre!]

Por suerte para una infinidad de generaciones de ratones, para la reputación de la ciencia y para la precisión de la medición neumática, Priestley se sintió tan conmovido por el poema que encontró una nueva prueba química para la bondad del aire.

Como se discutió en el capítulo V, en los planes de ciencia escolar es imposible evitar los problemas de los valores, la ética y la moral en ciencia. Todas las universidades importantes tienen ahora comités de ética que regulan la investigación en ciencias naturales y sociales que afectan en forma directa e indirecta a humanos, animales y en general el bienestar social, y los investigadores deben justificar sus métodos y objetivos ante estos comités. El uso de animales para experimentos científicos y disecciones en el

laboratorio, alguna vez directo e irreflexivo, ahora se controla estrictamente (Rollin, 2009). Pero no es todo: actualmente se cultiva en forma explícita, e incluso se exige, el cuidado de los animales; uno de los objetivos del plan de estudios de ciencia en Nueva Zelanda es "el cuidado de los animales" y el reconocimiento de sus derechos. Hasta el momento, y en parte bajo la influencia de quienes creen en una ciencia libre de valores, estos asuntos se han pasado por alto en la enseñanza de la ciencia. Rutinariamente se matan ratas, ratones y ranas para alcanzar ciertos objetivos curriculares. El ejemplo de Priestley permite situar este tema filosófico y educativo en contexto histórico, y ofrece una oportunidad para que los alumnos analicen y debatan el tema.

La comercialización de la ciencia

En 1767, Priestley se convirtió en la primera persona en crear y embotellar agua carbonatada, o "agua de Pyrmont", como la llamó.[30] Pyrmont fue un famoso spa terapéutico en Hannover. Priestley sabía que las burbujas de Pyrmont eran de dióxido de carbono (aire fijo), que pudo capturar como un subproducto de una cervecería de Leeds y que logró producir en forma independiente al mezclar caliza con ácido y capturar el gas emitido en una vejiga, con lo cual el producto se encontraba bajo presión. En esta época, existía un gran interés por determinar el componente efectivo de las aguas minerales inglesas y continentales, pero nadie estaba pensando en producirlas. Priestley, que reconoció la enorme fortuna que podía amasar, rechazó sin embargo la oportunidad de embotellar comercialmente su agua de Pyrmont, argumentando que los filósofos naturales debían buscar "la verdad, no el dinero". Por el contrario, Johann J. Schweppe (1740-1821) no desperdició esta oportunidad comercial, y a partir de 1793 comenzó a producir y a vender agua carbonatada de alta presión en su fábrica en la plaza Cavendish. Como dicen, el resto es historia.[31]

Que Priestley renunciara en forma inocente, casi propia de un santo, a la cascada de dinero que le habría caído encima de haberse decidido a vender su revolucionario proceso para fabricar agua carbonatada puede ser una buena oportunidad para traer a colación el tema de los vínculos, si no es que los enredos, entre la ciencia y el comercio. No es un tema tan sencillo como le gustaría a los románticos. Priestley fue un defensor a ultranza de la ciencia aplicada y del uso comercial del conocimiento científico; para él hacer buena ciencia era tanto una obligación religiosa como una forma de impulsar el proyecto ilustrado de "mejorar la herencia de los hombres", de aquí que diera su respaldo a la Lunar Society, concentrada en la manufactura y los negocios (Shofield, 1963; Uglow, 2002). Durante las últimas décadas se ha escrito mucho sobre la comercialización de la ciencia y sus implicaciones para "la naturaleza de la ciencia".[32]

¿La ciencia "vendió su alma" o "adquirió cuerpo"? Si los objetivos curriculares de la naturaleza de la ciencia se extienden más allá del núcleo metodológico y epistemológico tradicional, la comercialización de la ciencia merece la atención de los maestros y los alumnos.

En su gigantesca *The Fontana History of Chemistry* [La historia Fontana de la química], William Brock describe a Priestley como "una de las figura más cautivadoras de la historia de la ciencia" (Brock, 1992, p. 99). Aquí ya se ha dicho suficiente para que se le dé crédito a la afirmación de Brock. También se ha dicho suficiente para sustentar la afirmación de que la práctica de la ciencia está entretejida con la filosofía y con las visiones del mundo; las tres se afectan mutuamente. Como se mencionó al principio de este capítulo, existen tres sólidas consideraciones que hacen fácil usar la vida y la obra de Priestley en las aulas: el problema evidentemente ambiental de "la bondad del aire", la inclusión de la "naturaleza de la ciencia" en muchos planes de estudio y la preocupación generalizada por reevaluar ciertos aspectos de la tradición ilustrada europea. Con maestros bien informados, el caso de Priestley puede usarse para profundizar la comprensión de los alumnos sobre cada uno de estos temas.

Unas pocas décadas incluyendo los estudios históricos y filosóficos en los programas escolares[33] nos han dejado algunas lecciones útiles para incorporar el trabajo de Priestley en las aulas.

Viñetas históricas

En todos los planes de estudio de cualquier grado, resulta adecuado que los maestros o los alumnos presenten breves viñetas históricas sobre Priestley. En el nivel más básico, están diseñadas para ponerle un rostro humano a las lecciones de química y biología y para ofrecer indicios sobre la historia del tema. Estas viñetas pueden personalizarse según los intereses, la sofisticación y el grado de cada clase. Entre los temas puede incluirse la religión de Priestley, su política, su teoría y su práctica educativa, su matrimonio y su vida familiar, su respaldo a las revoluciones estadunidense y francesa, su trato con Lavoisier, su creación del agua carbonatada, su oposición a la nueva teoría de la combustión del oxígeno, su oposición a la colonización y al comercio de esclavos, su influencia sobre los padres fundadores de Estados Unidos, etcétera.

También pueden presentarse viñetas sobre las circunstancias científicas, políticas, sociales, religiosas e intelectuales de la época de Priestley: la práctica de la discriminación religiosa, la interconexión entre la religión y el Estado en Europa e Inglaterra, el papel de la ciencia en la Ilustración francesa e inglesa y su papel en el imperialismo europeo; el estado del gobierno parlamentario; la colonización europea; el impacto de la Revolución francesa; los efectos sociales de la rudimentaria producción capitalista en Inglaterra; el papel de la ciencia en el avance de la navegación, el comercio y la industria. Las viñetas pueden adoptar la forma de ensayos individuales o grupales que presentar en clase en

forma de pláticas o presentaciones de PowerPoint. Pueden contribuir a entender mejor el contenido científico; a apreciar más la tradición científica y, con suerte, a fomentar un sentido de deuda hacia esa tradición; a acrecentar el interés en la ciencia, y a alcanzar logros educativos más generales que tienen que ver con el sentido de lugar, cultura e identidad de los alumnos. Una ventaja nada despreciable de las viñetas es que permiten ocuparse en las aulas de temas controversiales, con la seguridad que brinda la distancia histórica. Mientras que la discusión crítica del Estado, de la censura o de la intervención religiosa en el Estado, por ejemplo, puede ser peligrosa o estar prohibida en algunas sociedades occidentales e islámicas contemporáneas o en la China comunista, discutir estos asuntos en el contexto de la vida, la época y los argumentos de Priestley puede resultar relativamente seguro y objetivo.[34]

La enseñanza histórico-investigativa

Una forma más rigurosa de llevar a Priestley al aula es tratar de empatar las clases de laboratorio con la narración histórica, es decir, recorrer el camino de la ciencia experimental: seguir los pasos de los maestros, podría decirse. Al hacerlo, es posible reproducir algunos de los rompecabezas intelectuales y de los debates científicos que dieron lugar a los experimentos originales. Participar en esta clase de viajes puede darle a los alumnos una apreciación más rica y profunda de los logros, las técnicas y la estructura intelectual de la ciencia al tiempo que desarrollan sus propios conocimientos y habilidades científicas.

Ernst Mach (1838-1916) lo reconoció a fines del siglo XIX, cuando escribió:

> Todos los jóvenes alumnos podrían entrar en contacto estrecho con unos cuantos descubrimientos matemáticos y científicos y llevarlos hasta sus últimas consecuencias lógicas. La lista de temas estaría asociada, naturalmente, con selecciones de los grandes clásicos científicos. Así podría invitarse a unas pocas ideas lúcidas y poderosas a echar raíz en la mente y a ser desarrolladas más profundamente [Mach, 1886/1986, p. 368].

Con excepción de Westaway, Holmyard, Bradley y unos cuantos autores más en Inglaterra, y Conant y otros en Estados Unidos, las recomendaciones de Mach fueron ignoradas por los maestros de ciencia. El enfoque de Mach fue recuperado en los famosos *Harvard Case Studies in Experimental Science* [Estudios de caso de Harvard en ciencia experimental] de Conant (Conant, 1948). El capítulo 2 se titula "The overthrow of the phlogiston theory: The chemical revolution of 1775-1789" [El derrocamiento de la teoría del flogisto: La revolución química de 1775-1789] (Conant, 1948), y el capítulo 5 "Plants and the atmosphere" [Las plantas y la atmósfera] (Nash, 1948). Este capítulo incluye textos históricos, glosarios, detalles de aparatos

experimentales y otros datos, los cuales pueden utilizarse en una discusión sobre Priestley en el aula.

En épocas recientes, Nahum Kipnis ha promovido su enfoque histórico-investigativo (Kipnis, 1996). Por ejemplo, ha diseñado un curso de lógica que vuelve sobre los pasos de los experimentos y demostraciones clásicos, y por lo general muy sencillos, que se han hecho en la historia de la materia (Kipnis, 1992). Los alumnos leen bibliografía original, recrean experimentos históricos y elaboran y debaten por su cuenta interpretaciones de lo que ven en el laboratorio. Las lecturas y los experimentos sobre la fotosíntesis bien podrían sustituir los libros de texto de óptica. En estos cursos, los alumnos no sólo leen historia; también hacen trabajo práctico y llevan a cabo investigaciones, pero en vez de que las actividades prácticas estén aisladas, tienen vínculos con la tradición del desarrollo científico.[35]

Otro ejemplo actual de este enfoque histórico-investigativo se encuentra en la Universidad de Chester, donde John Cartwright ha enseñado un curso optativo de ciencia que tiene un componente de cuatro a seis semanas llamado "El descubrimiento del oxígeno". Los objetivos del curso son:

1) Fomentar una comprensión de los orígenes históricos de la ciencia y la naturaleza distintiva de la investigación científica;
2) desarrollar conciencia sobre la interacción entre el pensamiento científico y la cultura en general;
3) promover una comprensión empática de las ideas de culturas anteriores;
4) tomar conciencia sobre la naturaleza de la investigación histórica;
5) permitirles a los alumnos apreciar la fuerza y el impacto del pensamiento y las ideas científicas.

El curso y su *Guía del alumno* (Cartwright, 2004) son un buen ejemplo de un enfoque más amplio y contextual de la enseñanza y el aprendizaje de la química. Podría servir como modelo para un curso comparable sobre "El descubrimiento de la fotosíntesis".

Los estudios de Priestley sobre el restablecimiento del aire sirven muy bien para este enfoque histórico-investigativo. Muchos de sus descubrimientos son relativamente fáciles de reproducir: hacer agua carbonatada, producir oxígeno calentando óxidos metálicos, comprobar el efecto de las condiciones de luz y oscuridad en la efectividad de las plantas verdes para restablecer el aire, la prueba del aire nitroso, la observación de la "materia verde" y las condiciones en las cuales crea aire puro, etcétera.

Lo que hace atractivo el caso de Priestley es que escribió descripciones muy completas y fáciles de leer sobre su trabajo; él deseaba que los lectores reprodujeran sus

experimentos. Sus escritos fueron un medio para educar al pueblo y para hacer realidad el que Priestley consideraba el auténtico objetivo de la Ilustración: el desarrollo de una ciudadanía informada que respetara la razón, desconfiara de la autoridad, atesorara la autonomía y reconociera que una sociedad abierta y el debate público eran las condiciones previas para el avance del conocimiento en todas las áreas de la actividad humana, pero en particular en la comprensión científica y religiosa. Priestley también era un defensor de la "ciencia para todos" un par de siglos antes de que se convirtiera en un eslogan educativo.

La enseñanza interdisciplinaria

Las actividades intelectuales de Priestley eran tan ambiciosas —ciencia, teología, educación, política, historia, filosofía—, que es imposible cubrirlas todas en un solo curso de ciencia. Sin embargo, no es exagerado esperar que en una escuela o una universidad pueda alcanzarse algún nivel de coordinación entre áreas temáticas, y que los maestros de áreas emparentadas trabajen juntos para entender el panorama general que abarca la obra de Priestley.

Por supuesto, este grado de coordinación casi nunca ocurre en los sistemas escolares. La historia, la ciencia, las matemáticas, la música, los estudios sociales, la literatura, la religión y la filosofía van cada una por su propio camino, sin darse por lo general ni un solo apretón de manos curricular. Desde el punto de vista de los alumnos, e incluso del de los maestros, el conocimiento está genuinamente fragmentado. Sin embargo, algunos temas bien elegidos y ricos heurísticamente, tales como "el restablecimiento del aire", pueden organizar el plan de estudios para revelar, en la medida de lo posible, la interdependencia del conocimiento. Para ello no hace falta más que analizar los planes de estudios que ya existen y que fueron generados en forma independiente, unir las partes relacionadas e instaurar cierto orden y algunas referencias cruzadas, pero también puede hacerse mucho más.

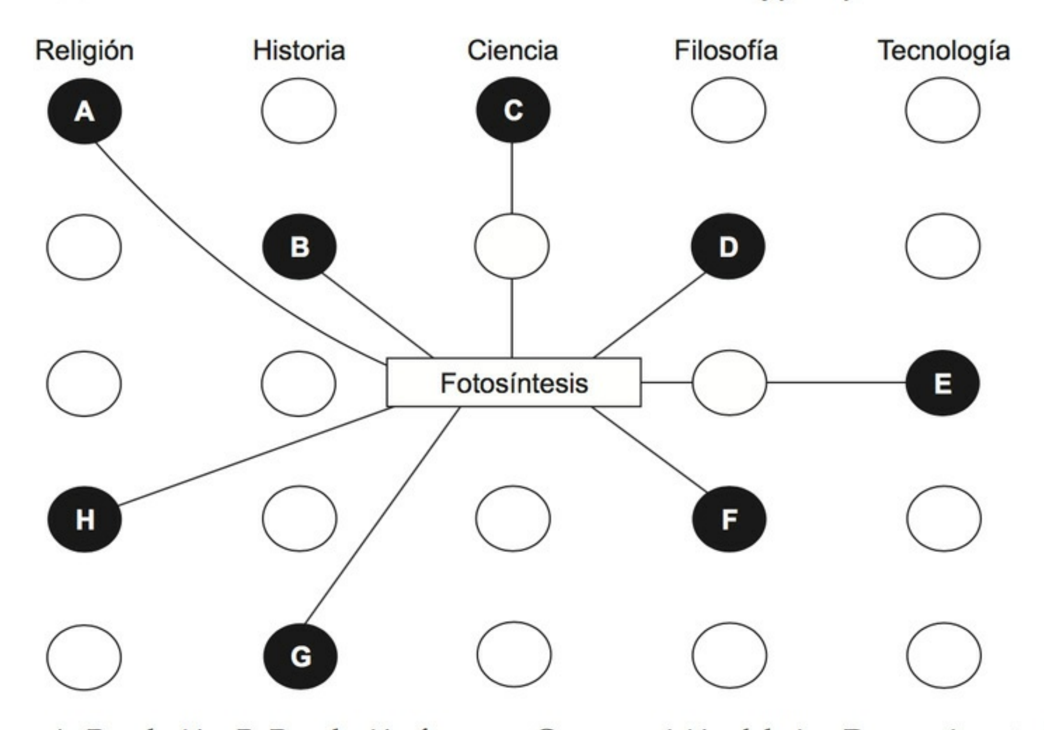
Un ejemplo encomiable de coordinación entre disciplinas, que puede servir como un modelo potencial, es el que ocurre en el Obsertufen Kolleg de la Universidad de Bielefeld, en Alemania. La universidad usa un "enfoque histórico-genético de la enseñanza de la ciencia". En el Obsertufen Kolleg:

> Se le presta atención a las dimensiones históricas, sociales y filosóficas de la ciencia. Con frecuencia, en las clases de ciencia se presentan ejemplos históricos más bien anecdóticos con el propósito de motivar a los alumnos a entender el contenido científico "auténtico". La historia y la filosofía no son más que instrumentos que ayudan a "vender el producto". Nuestra intención es diferente: nosotros consideramos que la dimensión histórica y filosófica es una parte esencial de la ciencia y de la enseñanza de la ciencia, y que el objetivo es presentar la ciencia en un contexto social e histórico [Misgeld *et al.,* 2000].

Los diversos planes de estudio en las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas (STEAM, por sus siglas en inglés) en países como Estados Unidos, Corea y otros sirven como ejemplos de formas distintas de enseñanza transdisciplinaria y coordinada;[36] algunos de estos esfuerzos por alcanzar cierto grado de coordinación son parte de los principios de los *Next Generation Science Standards* de Estados Unidos, en donde se identifican y se promueven conceptos y planes de estudio "transversales".

Leer, entender en su contexto y apreciar una selección de la extensa obra de Priestley sobre el restablecimiento del aire, la metodología, la filosofía y la teología, así como algunas reproducciones de sus experimentos simples basadas en una investigación histórica, serían excelentes materiales para estos planes de estudios cooperativos e interdisciplinarios. El plan de estudio escolar se vería, entonces, como el de la figura VII.1, donde las materias o las disciplinas se mencionan en las columnas y los temas en las filas.

FIGURA VII.1. *Vínculos curriculares basados en la historia y filosofía de la ciencia*



NOTA: A: Revelación; B: Revolución francesa; C: composición del aire; D: experimento; E: agua carbonatada; F: epistemología; G: la Ilustración; H: la Providencia.

CONCLUSIÓN

Priestley es un personaje subutilizado en la enseñanza de la ciencia. Aunque se reconoce su contribución en el descubrimiento del oxígeno, suele complementarse con algún comentario sobre su oscurantismo en lo que respecta a la nueva química de Lavoisier y su defensa dogmática del papel del flogisto en la combustión y la respiración. Desafortunadamente, la contribución de Priestley a la comprensión moderna de la fotosíntesis casi nunca se menciona en los planes de estudio escolares. Es una lástima, porque su papel fue absolutamente central, y es muy fácil llevar a los alumnos por el mismo camino que Priestley siguió: existe la oportunidad de hacerlos "seguir las huellas" de un gran científico, y en el proceso no sólo aprender contenidos, métodos y metodología científicos, sino sentirse parte de una tradición de pensamiento y análisis que yace en el núcleo del mundo moderno.

Estas actividades inspiradas en Priestley les permiten a los alumnos apreciar y entender los elementos clave de la tradición científica: mucho trabajo, experimentación, independencia intelectual, respeto por la evidencia, disposición para incorporar formas científicas de pensamiento al análisis y la comprensión de problemas sociales y culturales más generales, un profundo recelo del autoritarismo y el dogmatismo, y la voluntad de promover una sociedad abierta como condición indispensable para el avance del conocimiento.

Llevar a Priestley a los salones de clases ayuda a develar la interacción mutua entre la ciencia y las visiones del mundo; permite que se investiguen las fuentes científicas de la Ilustración europea y que se evalúe el nicho especial que ocupó Priestley dentro de la rama teísta, si bien disidente, de este movimiento. Entender y apreciar estos vínculos entre la ciencia y la Ilustración, y tener la oportunidad de estudiar qué está extinto y qué sobrevive de esta tradición, puede ser la contribución de los salones de clase a la enseñanza general de los alumnos modernos, una de enorme importancia.

AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1989), *Project 2061: Science for All Americans,* Washington, D. C., AAAS. También publicado por Oxford University Press, 1990.

Adler, M. J. (1978), *Aristotle for Everybody,* Nueva York, Macmillan.

Aliseda, A. (2006), *Abductive Reasoning: Logical Investigations into Discovery and Explanation,* Dordrecht, Springer.

Anderson, R. G. W., y C. Lawrence (coords.) (1987), *Science, Medicine and Dissent: Joseph Priestley (1773-1804),* Londres, Wellcome Trust and Science Museum.

Barnes, J. (coord.) (1984), *The Complete Works of Aristotle,* 2 vols., Princeton, Princeton University Press. [Hay edición en español: *Aristóteles,* Madrid, Cátedra, 1987.]

Boantza, V. D. (2007), "Collecting airs and ideas: Priestley's style of experimental reasoning", *Studies in History and Philosophy of Science,* vol. 38, núm. 3, pp. 506-522.

Bolton, H. C. (coord.) (1892), *Scientific Correspondence of Joseph Priestley,* Nueva York.

Brock, W. H. (1992), *The Fontana History of Chemistry,* Londres, Harper Collins. [Hay edición en español: *Historia de la química,* Madrid, Alianza, 1996.]

———— (2008), "Joseph Priestley, enlightened experimentalist", en I. Rivers y D. L. Wykes (coords.), *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian,* Oxford, Oxford University Press, pp. 49-79.

Brooke, J. H. (1990), "'A sower went forth': Joseph Priestley and the Ministry of Reform", en A. T. Schwartz y J. G. McEvoy (coords.), *Motion Towards Perfection: The Achievement of Joseph Priestley,* Boston, Skinner House Books, pp. 21-56.

Cañal, P. (1999), "Photosynthesis and 'inverse respiration' in plants: An inevitable misconception?", *International Journal of Science Education,* vol. 21, núm. 4, pp. 363-372.

Cartwright, J. (2004), *The Discovery of Oxygen: Student Guide,* Departamento de Química, University of Chester.

Coley, N. G. (1984), "The preparation and uses of artificial mineral waters (*ca.* 1680-1825)", *Ambix,* vol. 21, pp. 32-48.

Conant, J. B. (1948), "The overthrow of the phlogiston theory: The chemical revolution of 1775-1789", en J. B. Conant (coord.), *Harvard Case Histories in Experimental Science,* Cambridge, Harvard University Press, pp. 67-115.

Delaporte, F. (1982), *Nature's Second Kingdom: Explorations of Vegetality in the*

Eighteenth Century, Cambridge, MIT Press.
Dybikowski, J. (2008), "Joseph Priestley, metaphysician and philosopher of religion", en I. Rivers y D. L. Wykes (coords.), *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian,* Oxford, Oxford University Press, pp. 80-112.
Eisen, Y., y R. Stavey (1988), "Student's understanding of photosynthesis", *The American Biology Teacher,* vol. 50, núm. 4, pp. 208-212.
Funkenstein, A. (1986), *Theology and the Scientific Imagination: From the Middle Ages to the Seventeenth Century,* Princeton, Princeton University Press.
Gest, H. (2002), "History of the word photosynthesis and the evolution of its definition", *Photosynthesis Research,* vol. 73, pp. 7-10.
Gibbs, F. W. (1967), *Joseph Priestley: Revolutions of the Eighteenth Century,* Nueva York, Doubleday (publicado originalmente como *Joseph Priestley: Adventurer in Science and Champion of Truth,* Londres, Thomas Nelson, 1965).
Golinski, J. (1999), *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820,* Cambridge, Cambridge University Press.
Graham, J. (2008), "Joseph Priestley in America", en I. Rivers y D. L. Wykes (coords.), *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian,* Oxford, Oxford University Press, pp. 203-230.
Guerlac, H. (1957), "Joseph Priestley's first papers on gases and their reception in France", *Journal of the History of Medicine,* vol. 12, pp. 1-12.
Heering, P., y D. Höttecke (2014), "Historical-investigative approaches in science teaching", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1473-1502.
Helmont, van J. B. (1648), *Ortus medicinae,* Leiden. Traducción al inglés de J. Chandler, Londres, Oriatrike, 1662.
Hume, D. (1739/1888), *A Treatise of Human Nature: Being an Attempt to Intrdouce the Experimental Method of Reasoning into Moral Subjects,* Oxford, Clarendon Press. [Hay edición en español: *Tratado de la naturaleza humana,* Madrid, Tecnos, 2005].
Irzik, G. (coord.) (2013), "Commercialisation and commodification of science: Educational responses", *Science & Education,* vol. 22, núm. 10.
Jackson, J. (2005), *A World on Fire: A Heretic, an Aristocrat, and the Race to Discover Oxygen,* Nueva York, Penguin.
Kipnis, N. (1992), *Rediscovering Optics,* Mineápolis, BENA Press.
Kipnis, N. (1996), "The 'historical-investigative' approach to teaching science", *Science & Education,* vol. 5, núm. 3, pp. 277-292.
Kitcher, P. (2001), *Science, truth, and democracy,* Oxford, Oxford University Press.
Kuhn, T. S. (1970), *The Structure of Scientific Revolutions,* 2ª ed., Chicago, Chicago

University Press (1ª ed., 1962). [Hay edición en español: *La estructura de las revoluciones científicas,* México, Fondo de Cultura Económica, 2013.]
Leicester, H. M. (1956/1971), *The Historical Background of Chemistry,* Nueva York, Dover.
Lindberg, D. C., y R. L. Numbers (coords.) (1986), *God and Nature: Historical Essays on the Encounter Between Christianity and Science,* Berkeley, University of California Press.
Lipton, P. (1991), *Inference to the Best Explanation,* Londres, Routledge.
Mach, E. (1886/1986), "On instruction in the classics and the sciences", en *Popular Scientific Lectures,* LaSalle, Open Court Publishing Company, pp. 338-374.
Magiels, G. (2010), *From Sunlight to Insight: Jan IngenHousz, the Discovery of Photosynthesis and Science in the Light of Ecology,* Bruselas, Brussels University Press.
Matthews, M. R. (2009), "Science and worldviews in the classroom: Joseph Priestley and photosynthesis", *Science & Education,* vol. 18, núms. 6-7, pp. 929-960.
McEvoy, J. G. (1978-1979), "Joseph Priestley, 'aerial philosopher': Metaphysics and methodology in Priestley's chemical thought from 1761-1781", Pt. I *Ambix,* vol. 25, pp. 1-255, Pt. II, pp. 93-116, Pt. III, vol. 1, pp. 53-175; Pt. IV, vol. 26, pp. 16-38.
——— (1990), "Joseph Priestley and the chemical revolution: A thematic overview", en A. T. Schwartz y J. G. McEvoy (coords.), *Motion Towards Perfection: The Achievement of Joseph Priestley,* Boston, Skinner House Books, pp. 129-160.
McEvoy, J. G., y J. E. McGuire (1975), "God and nature: Priestley's way of rational dissent", *Historical Studies in the Physical Sciences,* vol. 6, pp. 325-404.
McKie, D. (1961), "Joseph Priestley and the Copley medal', *Ambix,* vol. 9, núm. 1, pp. 1-22.
Miller, P. (coord.) (1993), *Priestley: Political Writings,* Cambridge, Cambridge University Press.
Misgeld, W., K. P. Ohly y G. Strohl (2000), "The historical-genetical approach to science teaching at the Obersrufen-Kolleg", *Science & Education,* vol. 9, núm. 4, pp. 333-341.
Nash, L. K. (1948), "Plants and the atmosphere", en J. B. Conant (coord.), *Harvard Case Histories in Experimental Science,* 2 vols., Cambridge, Harvard University Press, pp. 325-436.
Newman, W. R. (2004), *Promethean Ambitions: Alchemy and the Quest to Perfect Nature,* Chicago, University of Chicago Press.
Newton, I. (1730/1979), *Opticks or a Treatise of the Reflections, Refractions,*

Inflections & Colours of Light, Nueva York, Dover. [Hay edición en español: *Óptica. O tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz,* introducción, traducción, notas e índice analítico de Carlos Solís, Madrid, Alfaguara, 1977.]

O'Brien, P. (1989), *Warrington Academy 1757-86,* Wigan, Owl Books.

Paley, W. (1802/2006), *Natural Theology: Or Evidence for the Existence and Attributes of the Deity Collected from the Appearances of Nature,* Oxford, Oxford University Press.

Passmore, J. A. (coord.) (1965), *Priestley's Writings on Philosophy, Science and Politics,* Londres, Collier Macmillan.

Peirce, C. S. (1931-1935), *Collected Papers of Charles Sanders Peirce,* ed. por Charles Hartshorne y Paul Weiss, Cambridge, Harvard University Press.

Peters, M. (1995), "Philosophy and education 'after' Wittgenstein", en P. Smeyers y J. D. Marshall (coords.), *Philosophy and Education: Accepting Wittgenstein's Challenge,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 189-328.

Priestley, J. (coord.) (1775), *Hartley's Theory of the Human Mind, on the Principle of the Association of Ideas; with Essays Relating to the Subject of It,* Londres, J. Johnson.

———— (1767/1775), *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments,* 2ª ed., Londres, J. Dodsley, J. Johnson y T. Cadell; 3ª ed., 1775; reimpreso en Nueva York por Johnson Reprint Corporation, 1966, con introducción de Robert E. Schofield.

———— (1772a), "Observations on different kinds of air", *Philosophical Transactions,* vol. 60, pp. 147-264.

———— (1772b), *Directions for Impregnating Water with Fixed Air, in Order to Communicate to It the Peculiar Spirit and Virtue of Pyrmount Water, and Other Mineral Waters of a Similar Nature,* Londres, J. Johnson. Reimpreso en sus *Experiments and Observations on Air,* vol. 2, 1775. El panfleto fue reimpreso por American Bottlers of Carbonated Beverages, Washington, D. C., 1945.

———— (1774-1786), *Experiments and Observations on Different Kinds of Air,* 6 vols., vol. 1, 1774, Londres, J. Johnson.

———— (1775-1777), *Experiments and Observations on Different Kinds of Air,* 2ª ed., 3 vols., Londres, J. Johnson. Algunas secciones del texto fueron publicadas por el Alembic Club bajo el título *The Discovery of Oxygen,* Edimburgo, 1961.

———— (1778), *A Free Discussion of the Doctrines of Materialism and Philosophical Necessity, in a Correspondence Between Dr. Price, and Dr. Priestley,* Londres, J. Johnson & T. Cadell.

———— (1786), *History of Early Opinions Concerning Jesus Christ, Compiled*

from Original Writers; Proving that the Christian Church was at First Unitarian, 4 vols., Birmingham.

———— (1806/1970), *Memoirs of Dr. J. Priestley to the Year 1795 Written by Himself, with a Continuation by His Son, J. Priestley,* editado por J. Lindsay, 2 vols., Filadelfia. Reimpreso en Bath por Adams & Dart, 1970.

Psillos, S. (2004), "Inference to the best explanation and bayesianism", en F. Stadler (coord.), *Induction and Deduction in the Sciences,* Dordrecht, Kluwer, pp. 83-91.

Radder, H. (coord.) (2010), *The Commodification of Academic Research,* Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.

Resnik, D. B. (2007), *The Price of Truth,* Oxford, Oxford University Press.

Rivers, I., y D. L. Wykes (coords.) (2008), *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian,* Oxford, Oxford University Press.

Rollin, B. E. (2009), "The moral status of animals and their use as experimental subjects", en H. Kuhse y P. Singer (coords.), *A Companion to Bioethics,* Singapur, Wiley-Blackwell.

Rutt, J. T. (coord.) (1817-1832/1972), *The Theological and Miscellaneous Works of Joseph Priestley,* 25 vols., Londres. Reimpreso en Nueva York por Kraus, 1972.

Schofield, R. E. (1963), *The Lunar Society of Birmingham,* Oxford, Oxford University Press.

———— (1966), *A Scientific Autobiography of Joseph Priestley (1733-1804): Selected Scientific Correspondence,* Cambridge, MIT Press.

———— (1970), *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in an Age of Reason,* Princeton, Princeton University Press.

———— (1997), *The Enlightenment of Joseph Priestley: A Study of His Life and Work from 1733 to 1773,* University Park, Penn State Press.

———— (2004), *The Enlightened Joseph Priestley: A Study of His Life and Work from 1733 to 1804,* University Park, Penn State Press.

Schwartz, A. T. (1990), "Priestley's materialism: The consistent connection", en A. T. Schwartz y J. G. McEvoy (coords.), *Motion Toward Perfection: The Achievement of Joseph Priestley,* Boston, Skinner House Books, pp. 109-127.

Scott, E. L. (1970), "The McBridean doctrine of air. An eighteenth-century explanation of some biochemical processes including photosynthesis", *Ambix,* vol. 27, pp. 43-57.

Tang, W. T. (2012), "Building potemkins schools: Science curriculum reform in a STEM school", *Journal of Curriculum Studies,* vol. 44, núm. 5, pp. 659-678.

Uglow, J. (2002), *The Lunar Men: Five Friends Whose Curiosity Changed the World,* Londres, Faber & Faber.

Wandersee, J. H. (1985), "Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions?", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 23, núm. 7, pp. 581-597.

Wandersee, J. H., y L. M. Roach (1998), "Interactive historical vignettes", en J. J. Mintzes, J. H. Wandersee y J. D. Novak (coords.), *Teaching Science for Understading. A Human Constructivist View,* San Diego, Academic Press, pp. 281-306.

Westfall, R. S. (1980), *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton,* Cambridge, Cambridge University Press.

Wykes, D. L. (1996), "The contribution of the dissenting academy to the emergence of rational dissent", en K. Haakonssen (coord.), *Enlightenment and Religion: Rational Dissent in Eighteenth-Century Britain,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 99-139.

——— (2008), "Joseph Priestley, minister and teacher", en I. Rivers y D. L. Wykes (coords.), *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian,* Oxford, Oxford University Press, pp. 20-48.

Yolton, J. W. (1983), *Thinking Matter: Materialism in Eighteenth-Century Britain,* Mineápolis, University of Minnesota Press.

VIII. EL CONSTRUCTIVISMO Y LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

La tesis de este libro es que la historia y filosofía de la ciencia puede hacer aportaciones útiles a los aspectos teóricos, curriculares y pedagógicos de la enseñanza de la ciencia y, por lo tanto, que aprender algo de historia y filosofía de la ciencia debería ser una parte natural de los programas de formación de los maestros de ciencia. La forma en la que la historia y filosofía de la ciencia contribuye a evaluar las fortalezas y las debilidades del constructivismo educativo es un buen ejemplo de dicha tesis.

Como teoría del conocimiento y del aprendizaje, el constructivismo ha sido la influencia teórica más importante para la enseñanza contemporánea de la ciencia y las matemáticas, y en su forma posmodernista y deconstruccionista ha pesado significativamente sobre la enseñanza de las matemáticas, las letras, el arte, los estudios sociales y la religión. Su efecto resulta evidente en los debates teóricos, el diseño curricular y las prácticas pedagógicas prevalentes en todos estos temas. El constructivismo, como orientación psicológica, educativa y filosófica, alimenta en las guerras de la enseñanza de las matemáticas las nociones localistas y "progresivas", las de la enseñanza centrada en el alumno y las del papel del maestro como facilitador, así como los debates fonéticos y las disputas sobre el aprendizaje por el descubrimiento. Se recurrió a él para la célebre pedagogía del "aprendizaje basado en problemas" (ABP) y el plan de estudios correspondiente que tuvieron origen en la Medical School de la Universidad McMaster en 1969 y que, durante 20 años, se extendieron a instituciones de enseñanza médica de Estados Unidos, Gran Bretaña, Europa y Australasia (Colliver, 2000, 2002; Neville, 2009).[1] El aprendizaje basado en problemas fue adoptado por la World Federation of Medical Education antes de que se contara con evidencias empíricas de que los alumnos formados así se convertirían en mejores doctores (Neville, 2009, p. 1). El mismo patrón resultó evidente en la adopción formal del constructivismo en la enseñanza científica y matemática. Como declara un editorial en el *Journal of Teacher Education:*

> El constructivismo es el nuevo estandarte de la educación. Su popularidad se debe a que tiene sus orígenes en una diversidad de disciplinas, entre las que destacan la filosofía de la ciencia, la psicología y la sociología. Las implicaciones de una perspectiva constructivista de la educación varían según su base disciplinaria, pero grupos profesionales de enseñanza tan diversos como la National Association for the Education of Young Children y el National Council of Teachers of Mathematics han basado las revisiones de sus estándares profesionales en el supuesto constructivista de que los alumnos no absorben pasivamente el conocimiento, sino que lo construyen a partir de sus experiencias [Ashton, 1992, p. 322].

Durante las décadas de 1980 y 1990, hubo una infinidad de talleres de desarrollo profesional, conferencias, artículos y libros que articulaban la teoría constructivista y profundizaban en sus implicaciones pedagógicas. Éste no es el lugar adecuado para hacer una historia detallada del constructivismo en educación,[2] pero para justificar la tesis de este capítulo sobre su dominio de la teoría educativa durante las últimas décadas del siglo XX es suficiente mencionar algunos famosos artículos de revisión.

Peter Fensham aseguró que "A partir de 1980 la influencia psicológica más conspicua en las ideas sobre los currículos científicos ha sido la perspectiva constructivista del aprendizaje" (Fensham, 1992, p. 801). Un expresidente de la National Association for Research in Science Teaching de Estados Unidos dijo que: "Parece estar ocurriendo una unificación de las ideas, la investigación, el desarrollo curricular y la formación de maestros bajo el tema común del constructivismo [...] No existe un debate polarizado" (Yeany, 1991, p. 1). Otro expresidente de esa organización escribió: "En la educación se está librando una guerra de paradigmas. En casi todas las facetas de la práctica educativa pueden verse evidencias del conflicto [...] [pero] existen pruebas de una aceptación generalizada de las alternativas al objetivismo, entre las cuales está el constructivismo" (Tobin, 1993, p. ix).

En 2000, dos investigadores cuantificaron el impacto del constructivismo en la investigación y la práctica educativa e informaron que había más de 1 000 elementos en la base de datos del Education Resource Information Center (ERIC), y que:

> En lo tocante a las cantidades de materiales destinados a los maestros en activo o desarrollados por ellos, uno puede hacerse una idea de su proliferación si se asoma a internet, donde los resultados para "constructivismo + educación" ascienden a decenas o cientos de miles, dependiendo del motor de búsqueda que se use [Davis y Sumara, 2003, p. 409].

La versión más reciente de la acreditada bibliografía sobre "constructivismo e investigación", preparada por Reinders Duit y sus colegas en la Universidad de Kiel, está disponible en línea y contiene más de 1 000 entradas (Duit, 2009). Sobre la bibliografía, Duit dice que: "Esta investigación se ha llevado a cabo dentro de lo que se llama un marco constructivista, incluyendo perspectivas constructivistas individuales y sociales. Así pues, la bibliografía puede considerarse un intento por documentar la investigación constructivista en la enseñanza de la ciencia".

La teoría constructivista ha tenido en la enseñanza un impacto que va mucho más allá de los confines de las revistas de investigación y las conferencias académicas que pueden documentarse en las búsquedas en ERIC; en muchos países, estados y provincias se ha adoptado como la teoría pedagógica "oficial", entre ellos la provincia canadiense de Ontario, en Tailandia, Grecia, Turquía, Nueva Zelanda, India, Taiwán, España, el estado

australiano de Australia Occidental y algunos estados y distritos escolares de Estados Unidos. Es ubicuo en los programas de formación de maestros en América Latina.

Aunque parece barrer con todo a su paso, el constructivismo ha tenidos sus críticos: muchos psicólogos, filósofos, pedagogos, maestros y padres han puesto sobre la mesa sus preocupaciones sobre distintas partes del programa constructivista. Desde el principio se han formulado críticas filosóficas[3] y, más recientemente, críticas detalladas a su afirmación de que constituye una guía para una pedagogía exitosa.[4] Por suerte, hay señales de que está menguando la influencia del constructivismo, al menos del más "serio" o "radical", y de que está siendo remplazado por principios más realistas, limitados y filosófica y educativamente mejor fundamentados. En efecto, uno de sus importantes defensores ha publicado un artículo llamado "Constructivism in education: Moving on" [El constructivismo en educación: Hora de cambiar] (Tobin, 2000). Del mismo modo, en las escuelas de medicina, el aprendizaje basado en problemas está transformándose y abandonándose. Un investigador llegó a la conclusión de que: "No hay evidencia convincente de que el aprendizaje basado en problemas mejore la base de conocimientos y el desempeño clínico, al menos no en la magnitud que sería de esperar dados los recursos que exige un plan de estudios de aprendizaje basado en problemas".

Así pues, cuando el entusiasmo por un programa educativo, no se diga una "visión del mundo", pasa de "ganar una guerra de paradigmas" a "seguir adelante", y todo esto en el transcurso de un par de décadas, le toca a los investigadores estudiar las razones por las que esto ocurrió y concluir algunas lecciones sobre la disciplina de la enseñanza de la ciencia. Lo que debe superarse es la tendencia que existe en este campo a importar teorías filosóficas, psicológicas y políticas que apenas se entienden, y a permitir que el entusiasmo sustituya la coherencia conceptual y la evidencia empírica.

El constructivismo es un movimiento heterogéneo. Un estudio sobre el tema ha identificado al menos las siguientes variedades: contextual, dialéctico, empírico, de procesamiento de la información, metodológico, moderado, piagetiano, postepistemológico, pragmático, radical, realista, social y sociohistórico (Good *et al.,* 1993). A esta lista podría añadirse el constructivismo humanista (Cheung y Taylor, 1991) y el constructivismo didáctico (Van den Brin, 1991). A partir de sus orígenes en la psicología del desarrollo, el constructivismo se ha extendido, en forma con frecuencia ingenua, hacia muchas áreas de la investigación educativa. El abanico de los temas tratados por el constructivismo puede verse en los apartados de un artículo sobre enseñanza de la ciencia: “Una perspectiva constructivista del aprendizaje”, “Una perspectiva constructivista de la enseñanza”, “Una perspectiva de la ciencia”, “Los objetivos de la enseñanza de la ciencia”, “Una perspectiva constructivista del plan de estudios” y “Una perspectiva constructivista del desarrollo curricular” (Bell, 1991).

Existen dos tradiciones fundamentales del constructivismo. La primera es el constructivismo psicológico, que tiene su origen en las descripciones que Jean Piaget hizo del aprendizaje de los niños como un proceso de construcción personal, individual e intelectual que surge a partir de sus actividades en el mundo. Esta tradición se bifurca, por un lado, en la tradición más personal y subjetiva de Piaget, que puede verse en el trabajo de Von Glasersfeld, y por el otro en el constructivismo social del ruso Vygotsky y sus seguidores, que hacen énfasis en la importancia de las comunidades lingüísticas para la construcción cognitiva de los individuos, tal como puede leerse en los trabajos de Duckworth (1996), Gergen (1994, 1999) y Lave (1988).

La segunda tradición es el constructivismo sociológico, que nació con Émile Durkheim y que enriquecieron sociólogos de la cultura como Peter Berger y, más recientemente, sociólogos de la ciencia de la Escuela de Edimburgo, como Barry Barnes, David Bloor, Harry Collins y Bruno Latour. Esta tradición sociológica sostiene que el conocimiento científico se construye y se justifica socialmente, e investiga las circunstancias y las dinámicas de la construcción de la ciencia. A diferencia de Piaget y Vygotsky, ignora los mecanismos psicológicos individuales de la construcción de creencias y se concentra en las circunstancias sociales extraindividuales que, afirma, determinan las creencias de los individuos; el individuo se convierte en una especie de “caja negra” para la teoría. Las formas extremas del constructivismo sociológico sostienen que la ciencia no es más que una forma de construcción cognitiva humana, análoga a la construcción artística o literaria, y que no tiene una validez particular; las teorías dominantes son las teorías de los científicos dominantes.[5]

Para muchos, el constructivismo ha dejado de ser una teoría del aprendizaje, o

incluso una teoría educativa, para convertirse en una visión del mundo o *Weltanschaung,*[6] como sugieren comentarios de este tipo: "Convertirse en constructivista es usar el constructivismo como un referente para los pensamientos y las acciones. Es decir, al pensar o al actuar, las creencias asociadas con el constructivismo adquieren un valor mayor que otras creencias. Por diversas razones, el proceso no es sencillo" (Tobin, 1991, p. 1).

La página web de Constructivist Foundations identifica así los rasgos que tienen en común todas las posturas constructivistas:[7]

- Los enfoques constructivistas cuestionan la separación cartesiana entre el mundo objetivo y la experiencia subjetiva.
- Por lo tanto, exigen que se incluya al observador en las explicaciones científicas.
- Se rechaza el representacionalismo; el conocimiento es un proceso cognitivo sistémico, no la proyección de un mundo objetivo sobre estructuras cognitivas subjetivas.
- Según los enfoques constructivistas, resulta inútil asegurar que el conocimiento se acerca a la realidad; el sujeto crea la realidad, no la recibe en forma pasiva.
- Los enfoques constructivistas contemplan una relación agnóstica con la realidad, que se considera más allá de nuestro horizonte cognitivo; debe evitarse hacer cualquier referencia a ella.
- Por lo tanto, el foco de la investigación pasa de estar sobre el mundo material a concentrarse sobre las cosas importantes.
- Los enfoques constructivistas se centran en sistemas autorreferenciales y cerrados organizativamente; estos sistemas buscan establecer control sobre sus *inputs*, más que sobre sus *outputs*.
- En lo que se refiere a las explicaciones científicas, los enfoques constructivistas favorecen un acercamiento centrado en el proceso más que en la sustancia; por ejemplo, los sistemas vivos son definidos mediante los procesos por medio de los cuales conforman y mantienen su propia organización.
- Los enfoques constructivistas hacen énfasis en el enfoque del "individuo como un científico personal"; la socialidad se define como aquello que se adapta al marco de la interacción social.
- Para terminar, los enfoques constructivistas exigen un acercamiento a la ciencia más abierto y menos dogmático para generar la flexibilidad que se necesita para enfrentar los límites científicos actuales.

Sin duda resulta claro que evaluar cada una de estas bases del constructivismo requiere ciertas habilidades de historia y filosofía de la ciencia; de eso se tratan, en última instancia, sus afirmaciones. Los filósofos considerarían que la mayor parte de los puntos que se enumeran arriba son ininteligibles, falsos o, en el mejor de los casos, muy discutibles. Sin embargo, muchos pedagogos los adoptan de forma ingenua y poco

informada, y construyen sobre ellos edificios educativos, planes de estudio y prácticas didácticas.

Por lo general, el constructivismo se presenta como una teoría del aprendizaje (una teoría psicológica) y como una teoría del conocimiento (una teoría filosófica, en particular una epistemológica); está consciente, así, de ser una teoría mixta. En una antología constructivista muy citada, Catherine Fosnot hace una descripción característica de la teoría:

> El constructivismo es una teoría sobre el conocimiento y el aprendizaje; describe tanto lo que es "saber" como lo que es "llegar a saber". Con base en trabajos de psicología, filosofía, ciencia y biología, la teoría describe el conocimiento no como verdades que deben transmitirse o descubrirse, sino como explicaciones emergentes, evolutivas, no objetivas y viables elaboradas por humanos que se ocupan de crear contenido en comunidades de discurso sociales y culturales. Desde esta perspectiva, aprender se entiende como un proceso autorregulado de lucha con el conflicto entre los modelos personales del mundo y nuevos descubrimientos que discrepan con ellos, de construcción de nuevas representaciones y modelos de la realidad como una empresa de creación de contenido con herramientas y símbolos culturalmente desarrollados, y de negociación de estos significados mediante actividades sociales cooperativas, discursos y debates en comunidades de práctica.
>
> Si bien el constructivismo no es una teoría de la enseñanza, sugiere que sigamos un enfoque radicalmente distinto al que se usa en la mayor parte de las escuelas [Fosnot, 2005, p. ix].

Esta caracterización del constructivismo como una mezcla entre teoría del aprendizaje (psicología) y teoría del conocimiento (filosofía) resulta evidente en los escritos de los fundadores del constructivismo educativo: Piaget, Vygostky y Bruner. Piaget llamó su propia teoría "epistemología genética", y sus preocupaciones filosóficas se ven reflejadas en el título de uno de sus libros: *Psychology and Epistemology* [Psicología y epistemología] (Piaget, 1972). Jerome Bruner, al hablar de su famoso libro *The Process of Education* [El proceso de la educación] (Bruner, 1960), que presentaba una alternativa constructivista para la pedagogía didáctica, transmisionista y "bancaria", influida por el conductismo, escribió que: "Sus ideas tuvieron origen en la epistemología y las ciencias del conocimiento […] Creo que todos estábamos respondiendo a la misma enfermedad 'epistémica', las dudas sobre la naturaleza del conocimiento que nacieron primero a partir de la revolución en la física y luego fueron formalizadas y ampliadas por la filosofía" (Bruner, 1983, p. 186).

Resulta evidente que cualquier tipo de afirmación sobre el impacto de la revolución de la física sobre la epistemología es un asunto que deben examinar los historiadores y los filósofos de la ciencia, y lo han hecho; los pedagogos se ven lanzados a esta arena, quieran o no, y al menos tienen que conocer sus contornos generales.

Es importante reconocer una ambigüedad persistente en los vínculos que establece el constructivismo entre la teoría del aprendizaje y la epistemología. Los fundadores del constructivismo tomaban en serio la epistemología como una actividad filosófica; ofrecían explicaciones sobre lo que constituye el conocimiento humano y sobre cómo se

comparaban y probaban las afirmaciones de conocimiento. Sin embargo, más tarde, muchos miembros de la tradición constructivista sencillamente integraron la epistemología a la psicología y, aunque afirman estudiar la adquisición de conocimiento, en realidad estudian la adquisición de creencias. Un ejemplo ocurre en un libro reciente de Andreas Quale, *Radical Constructivism* [Constructivismo radical] (Quale, 2008). Quale dice que el aprendizaje es el proceso mediante el cual obtenemos conocimiento, y el conocimiento es el producto del proceso de aprendizaje (p. 45). Por supuesto reconoce, como Platón y el resto de la tradición filosófica y de sentido común, que "es posible aprender cosas que no son verdad" (p. 45), pero esto no le preocupa, porque "esta asociación entre conocimiento y verdad no se hace en el constructivismo" (p. 45). Sin embargo, afirmar que no existe ningún problema para identificar el aprendizaje con el conocimiento no quiere decir que sea así. En los libros para niños, las cosas que dan miedo desaparecen cuando el personaje cierra los ojos, pero por más reconfortante que sea casi nunca ocurre lo mismo en el mundo real, o en el mundo de la argumentación filosófica.

Con base en una psicología "de sillón", uno puede afirmar que los procesos neurológicos y psicológicos mediante los que se adquiere conocimiento son los mismos que los procesos mediante los que se adquiere ignorancia. Aprender es neutral en términos de verdad: se pueden aprender lo mismo buenos y malos hábitos, opiniones razonables e irrazonables, creencias verdaderas y falsas. A lo largo del tiempo, y tal vez incluso en el presente, la mayor parte de lo que los humanos han aprendido sobre el mundo, sobre sus sociedades y tal vez sobre ellos mismos ha resultado ser falso (piénsese en cuántas personas creyeron, y aún creen, que el Sol gira alrededor de la Tierra; cuántos estadunidenses creen en la creación especial y cuántos aún piensan que la invasión de Estados Unidos a Iraq tenía el propósito de fomentar la democracia, etc.), y cualquier teoría decorosa del conocimiento puede explicar este aprendizaje.

Cualquier psicólogo del aprendizaje considerará que aprender el islam en una mezquita de Pakistán, el judaísmo en una yeshivá, el catolicismo romano en un seminario o el marxismo-leninismo en una escuela de entrenamiento para el Politburó son casos de aprendizaje de materias concretas. Los procesos neurológicos, psicológicos y conductuales de aprender esos contenidos particulares serán los mismos en todos los casos: aprender el islam será lo mismo que aprender el cristianismo. Los procesos psicológicos que conducen a convertirse en republicano serán básicamente los mismos que llevan a ser demócrata (o cualesquiera que sean las opciones políticas locales). El proceso de aprender creacionismo y darwinismo será el mismo. El psicólogo, como un teórico del aprendizaje, no tiene un interés especial en evaluar la veracidad o idoneidad de lo que se está aprendiendo. A un psicólogo clínico puede interesarle, y ojalá que así fuera, pero el teórico del aprendizaje no tiene ningún interés por el estatus epistemológico

de lo que se está aprendiendo.

Del mismo modo, las teorías del aprendizaje serán ciegas al contenido: puede haber buenos maestros que enseñen falsedades lo mismo que verdades, ideología así como ciencia; ambos tendrán las mismas características. No puede culparse a Goebbels de ser un mal maestro: lo que enseñó estuvo mal, pero su forma de enseñarlo fue la correcta.[8]

Sin embargo, para la enseñanza de la ciencia la psicología tiene que aliarse y alimentarse de la filosofía. En las clases de ciencia, lo que se enseña son supuestas verdades sobre el mundo, y lo que se busca es lograr un aprendizaje racional.[9] Entender qué constituye la verdad y la racionalidad es una actividad filosófica, y la historia y la filosofía de la ciencia tienen una importante contribución que hacer a las reflexiones de los pedagogos.

Los constructivistas que tratan de apuntalar sus teorías mediante la investigación empírica se encuentran con un claro "dilema de evidencias". Por un lado, buscan apelar a la naturaleza de las realidades cognitivas (los procesos de aprendizaje) y las realidades epistemológicas (en particular la historia de la ciencia) para fundamentar sus propuestas pedagógicas, curriculares y epistemológicas. Sin embargo, por otro lado dicen que estas realidades no pueden conocerse, o nos resultan para siempre inaccesibles. Para muchos constructivistas, la realidad colapsa en una "experiencia de realidad" personal y completamente subjetiva.[10]

Así, un investigador que aboga por el "constructivismo sociotransformador" y que respalda su postura con un estudio de 18 alumnos en una clase de metodología de ciencia de secundaria se ve impulsado a comentar:

> Nótese que al usar el término evidencia empírica no estoy hablando de una actitud realista o empirista, ni de alguna otra orientación occidental. Uso el término "evidencia empírica" sabiendo que el conocimiento se construye socialmente y siempre es parcial. Con "evidencia empírica" me refiero a la información que se recolectó y expuso sistemáticamente a una variedad de chequeos metodológicos. Así, en este estudio no pretendo capturar el mundo real de los participantes de la investigación (realismo) ni capturar su mundo experiencial (empirismo). Lo que intento hacer es proporcionar espacios en los que se representen las voces y las subjetividades de los participantes, así como mi propia voz y mis propias subjetividades [Rodríguez, 1998, p. 618].

Es fácil entender el sentido general de lo que se afirma aquí, es decir, que no existen evidencias "inobjetables" y que, en vez de tratar de obtener evidencias más adecuadas, el autor propone que la investigación debería "proporcionar espacios en los que se representen las voces y las subjetividades de los participantes, así como mi propia voz y mis propias subjetividades". Como guía para la investigación educativa, esto resulta completamente turbio e incita francamente a que se produzca un descomunal efecto Hawthorne en cualquier investigación; de hecho, si el efecto no está allí quiere decir que la investigación se ha realizado mal (de manera positivista). Puede entenderse la renuencia a financiar la creación de espacios como éstos cuando en el mundo abundan problemas reales.[11]

Desafortunadamente esta mistificación se ha vuelto la moneda de cambio en el ámbito de la investigación constructivista y, en general, en el ámbito de la investigación educativa, gracias en particular a los ampliamente aceptados manuales de investigación de Yvanna Lincoln y Ergon Guba (Guba y Lincoln, 1989; Lincoln y Guba, 1985). Los autores escriben sobre el segundo que:

> Los autores apoyan el paradigma constructivista, que ha demostrado tener múltiples ventajas, entre ellas el empoderamiento y la emancipación de los interesados, así como una orientación hacia la acción que define el

camino a seguir. No se trata únicamente de un tratado de teoría de la evaluación; Guba y Lincoln describen en forma exhaustiva las diferencias entre los paradigmas de investigación positivista y constructivista y ofrecen un proyecto práctico de pasos y procesos para llevar a cabo una cuarta generación de evaluaciones [Guber y Lincoln, 1989, texto de contraportada].

El constructivismo subraya que la ciencia es una actividad humana creativa histórica y culturalmente condicionada, y que sus afirmaciones de conocimiento no son absolutas. Sin duda vale la pena repetirla, pero es una verdad autoevidente que comparten casi todos los filósofos e historiadores de la ciencia. Más allá de esta perogrullada, el constructivismo está comprometido con ciertas posturas epistemológicas ampliamente discutidas y rechazadas; dada la influencia educativa de esta doctrina, dichas posturas merecen un escrutinio cuidadoso. En el fondo, el constructivismo tanto personal como social parte de una comprensión subjetivista y empirista del conocimiento humano y, por lo tanto, del conocimiento científico. Como ha dicho uno de los constructivistas más influyentes en la enseñanza de la ciencia y las matemáticas: "El conocimiento es resultado de la actividad constructiva de un sujeto, no un producto que reside, de algún modo, fuera del sujeto cognoscente y que puede transmitirse o inculcarse mediante una percepción diligente o una comunicación lingüística" (Von Glasersfeld, 1990a, p. 37).

Desde Platón, nadie ha pensado que el conocimiento se obtenga simplemente observando, ni siquiera diligentemente. Como dijo Platón, "Vemos a través del ojo, no con el ojo". Pero es igual de evidente que el conocimiento puede y debe transmitirse mediante la comunicación lingüística.[12] Cada vez que alguien pregunta, en una nueva ciudad, cómo llegar a un café o a un baño, el conocimiento se transmite en forma lingüística desde el lugareño que lo posee al fuereño que no lo posee: "tome la segunda calle a la derecha y avance 50 metros". Saber el *cómo* puede ser difícil de transmitir lingüísticamente, pero saber el *qué* sólo puede transmitirse lingüísticamente.[13] Negar una realidad evidente es una señal de que una persona es presa de una ideología.

Algunas citas de fuentes diversas pueden dar una idea de las posturas epistemológicas y ontológicas que adoptaron los constructivistas en la enseñanza de la ciencia; todas son variantes de una teoría empirista del conocimiento centrada en el sujeto:

> Si bien podemos asumir que existe un mundo externo, no tenemos acceso directo a él; la ciencia como conocimiento público no es tanto un descubrimiento como una construcción cuidadosamente comprobada [Driver y Oldham, 1986, p. 109].
>
> En términos sencillos, el constructivismo puede describirse esencialmente como una teoría sobre los límites del conocimiento humano, la creencia de que todo el conocimiento es necesariamente un producto de nuestros propios actos cognitivos. No podemos tener un conocimiento directo o inmediato de ninguna realidad externa u objetiva. Construimos nuestra comprensión mediante nuestras experiencias, y el carácter de nuestra experiencia se ve profundamente influido por nuestra lente cognitiva [Confrey, 1990, p. 108].

Steven Lerman (1989), siguiendo a Kilpatrick (1987) y antes a Von Glasersfeld, sugiere que las tesis epistemológicas centrales del constructivismo son las siguientes:

1) El sujeto cognoscente construye activamente el conocimiento y no lo recibe en

forma pasiva del medio ambiente.

2) Llegar a conocer es un proceso adaptativo que organiza el mundo personal de la experiencia; no descubre un mundo independiente y preexistente fuera de la mente del sujeto.

Relativismo

Todos los constructivistas son relativistas epistemológicos: rechazar que una descripción o teoría puede ser mejor que otra (los constructivistas inevitablemente colocan el término "mejor" entre comillas) y, del mismo modo, negar que una descripción puede ser más verdadera que otra viene con el territorio constructivista.[14] Este relativismo tiene sus problemas filosóficos.[15] Por supuesto, para la gente pueden tener sentido toda clase de cosas diferentes, y distintas personas pueden discrepar sobre qué tanto sentido tiene para ellas una proposición particular. Las formas en las que una proposición puede tener sentido son independientes del referente de la proposición, pero los hechos sobre una proposición no son tan liberales: dependen de cómo es el mundo y qué afirmaciones hacemos sobre él. En consecuencia, "tener sentido" es una plataforma muy inestable sobre la cual colocar nuestras propuestas curriculares y sostener nuestros debates sobre el contenido de los planes de estudio.

Además, la mayor parte de los avances científicos han entrañado un compromiso con proposiciones que literalmente desafiaban el sentido común: la Tierra giratoria de Copérnico; las masas puntuales y los cuerpos incoloros de Galileo; los sistemas inerciales de Newton que, en principio, no pueden experimentarse, y también sus ideas de acción a distancia; los supuestos evolutivos gradualistas de Darwin, tan en desacuerdo con el registro fósil; la equivalencia masa-energía de Einstein, etc. De hecho, el tema del movimiento del péndulo exhibe, como hemos visto, los problemas de que "tener sentido" sea un objetivo y un árbitro de la enseñanza de la ciencia. En el objeto teórico de la mecánica clásica, la pesa, en su punto más alto, está tanto en reposo como acelerándose a la aceleración de la gravedad; en su punto más bajo se mueve a su velocidad máxima en una dirección tangencial, y sin embargo su aceleración es vertical y en ascenso. Ninguna de estas proposiciones tiene sentido de inmediato, pero son consecuencias de la teoría física que permite construir relojes de péndulo y hacer predicciones exitosas sobre el comportamiento de los objetos reales, materiales, que conforman los péndulos. Con la teoría newtoniana del movimiento circular, las proposiciones "tienen sentido". Pero la teoría no surge a partir de sensaciones, y no sólo no puede rastrearse hasta la experiencia sino que la contradice de inmediato, y sólo concuerda en términos muy vastos con la experiencia experimental más refinada. Es por esto que Wolpert, entre otros, comenta

que "si algo concuerda con el sentido común casi seguramente no es ciencia […] el universo y el sentido común no funcionan del mismo modo" (Wolpert, 1992, p. 11).

El rechazo del aspecto inherentemente social del desarrollo científico surge directamente a partir del empirismo individualista del constructivismo. No es sólo que los individuos dependan unos de otros para su lenguaje y su mobiliario conceptual, sino que, en lo que a la ciencia respecta, el desarrollo del conocimiento científico va de la mano de la iniciación dentro de una tradición científica, en la que tienen sentido las masas puntuales y la aceleración instantánea. Las tradiciones valiosas se heredan, no se reinventan en cada generación. Cómo se seleccionan los aspectos de una tradición que vale la pena transmitir, y los procesos mediante los cuales se transmite, son problemas educativos serios. Sin embargo, estos problemas sólo emergen y pueden resolverse si se reconoce la dimensión formadora de la educación. El constructivismo subjetivo, o psicológico, sólo lo reconoce vagamente. El constructivismo social lo ve en forma más clara, pero aun así debe ocuparse de los elementos epistemológicos o normativos de la construcción social del conocimiento.

Los pensamientos de los niños son privados, pero sus conceptos son públicos. Los individuos no pueden determinar si sus pensamientos particulares constituirán o no conocimiento; o bien, si lo determinan, es contra el estándar público. Estas y otras consideraciones llevaron a D. W. Hamlyn a decir: "Cualquier idea que el niño elabora como un investigador solitario que busca descubrir la verdad sobre el mundo debe ser rechazada. (A fin de cuentas, ¿qué puede significar 'la verdad' en estas circunstancias?)" (Hamlyn, 1973, p. 184).

Por lo general, son los maestros quienes median entre los alumnos y este estándar público. Sin estos criterios públicos, la palabra "conocimiento" bien puede reducirse a "creencia". Lo que constituye conocimiento y lo que hace que una afirmación sea sólida son problemas de gran importancia epistemológica y política. En la perspectiva constructivista del conocimiento, simplista y personal, estos problemas se evaporan. En el constructivismo social también se evaporan, sólo que más lentamente: ¿cuál será el grupo social cuyos acuerdos conviertan una proposición en conocimiento?

Escepticismo

El relativismo es un problema que de por sí resulta bastante serio para los maestros de ciencia, pero se vuelve más grave cuando el constructivismo transita hacia un escepticismo completo: la idea de que no podemos tener ningún conocimiento sobre la naturaleza, sobre su estructura o sus propiedades. No se trata de un escepticismo sobre alguna afirmación particular (que un duende se comió la tarea de un alumno), sino un escepticismo global sobre todas las afirmaciones que se hacen sobre el mundo. El

constructivismo asegura continuamente que no tenemos un acceso directo a la realidad, que la realidad permanece para siempre oculta. Por ejemplo, Antonio Bettencourt lo formula así: "el constructivismo, como el idealismo, mantiene que estamos cognitivamente aislados de la naturaleza de la realidad […] Nuestro conocimiento es, en el mejor de los casos, una proyección de las transformaciones que permite esa realidad" (Bettencourt, 1993, p. 46). Dejando de lado el problema de entender qué significa la segunda parte de esta afirmación, la primera mitad —"aislamiento cognitivo"— permea los textos constructivistas.

El aislamiento cognitivo del mundo es uno de los principios fundamentales del constructivismo radical de Ernst von Glasersfeld. En casi todas sus publicaciones afirma que existe. Una declaración particularmente clara es:

> Para afirmar que tienes un conocimiento verdadero del mundo, tendrías que asegurarte de que la imagen que conformas con base en tus percepciones y nociones es, en todo sentido, una representación verídica del mundo tal como es. Pero para estar seguro de que corresponde fielmente, deberías poder comparar la representación con lo que supones que representa. Sin embargo, no puedes hacerlo porque no puedes alejarte de tus formas humanas de percibir y concebir [Von Glasersfeld, 1995, p. 26].

Philip Kitcher llama a esta aseveración el *argumento de la inaccesibilidad de la realidad* (AIR). Dice sobre ella que: "el argumento de la inaccesibilidad de la realidad es un arma terrorista que usan los antirrealistas con enorme confianza" (Kitcher, 2001, p. 156). Por supuesto, muchos la han usado en la tradición filosófica: los empiristas británicos, los idealistas continentales, los positivistas lógicos y, más recientemente, Nelson Goodman, Hilary Putnam y Richard Rorty. Así que el uso constructivista del argumento de la inaccesibilidad de la realidad tiene un pedigrí bastante honroso.

Sin embargo, la filosofía ha tenido oponentes igualmente honorables al argumento de la inaccesibilidad de la realidad. La visión opuesta, el "realismo de sentido común", fue bien formulada por Moritz Schlick en 1935. Contra Carnap y Neurath, sus compañeros positivistas, afirmó:

> He sido acusado de sostener que las afirmaciones pueden compararse con los hechos. Me declaro culpable. Lo he sostenido. Pero protesto contra mi castigo: me rehúso a sentarme en la silla de los metafísicos. Con frecuencia he comparado proposiciones y hechos, así que no tenía razones para suponer que no podía hacerse. En mi Baedeker encontré, por ejemplo, esta afirmación: "esta catedral tiene dos capiteles". Fui capaz de compararla con la "realidad" observando la catedral, y esta comparación me convenció de que la afirmación de Baedeker era verdadera [Schlick, 1935, pp. 65-66, en Nola, 2003, p. 146].

Por supuesto que el argumento del "turista" de Schlick se aplica al siguiente nivel de análisis. Hubo una época en la que los virus, las bacterias, las moléculas y un montón de entidades microscópicas sólo existían como idea, pues resultaban inaccesibles para los científicos y para todos los demás. No obstante, gracias a los refinamientos tecnológicos se volvieron tan visibles para los alumnos en los laboratorios como los capiteles de la

catedral de Schlick para los turistas que caminan por la ciudad y como los detalles de la superficie lunar. La tesis del argumento de la inaccesibilidad de la realidad no es tan “incontestable” como los constructivistas quieren hacernos creer; ha sido desafiada y se ha encontrado que adolece de graves deficiencias.[16]

Los constructivistas con frecuencia adoptan una ontología idealista, o teoría idealista sobre el estatus existencial de los objetos científicos y cotidianos; es decir, mantienen, en diversas formas, que el mundo es creado por el pensamiento humano y depende de él. Diversos sociólogos de la ciencia de inspiración kuhniana han declarado repetidamente que diferentes observadores "viven en mundos distintos" y que ellos crean esos mundos. Estas asombrosas afirmaciones pasan por alto la ambigüedad más importante: por un lado, la absoluta perogrullada de que distintos observadores y distintos grupos tienen distintas experiencias; por el otro, que el mundo en el que viven cambia de observador en observador y de grupo en grupo. Esto último no es evidente en sí mismo y requiere un poco de argumentación, lo mismo que la afirmación, más avanzada, de que estos mundos diversos son creados por el observador. Kenneth Gergen, un importante constructivista social, expresa su posición diciendo que "hay múltiples formas en las que 'el mundo' es y puede ser construido" (Gergen, 1994, p. 82). Karin Knorr Cetina lo formula así: "Es el impulso de la concepción constructivista para concebir que la realidad científica emerge progresivamente a partir de la indeterminación y las operaciones constructivas (autorreferenciales) sin asumir que corresponden a un orden preexistente de lo real" (Knorr-Cetina, 1983, p. 135).

El idealismo educativo

El constructivismo radical de Ernst von Glasersfeld es la variante idealista mejor conocida en los círculos educativos. Él afirma:

> El realista cree que sus constructos son una réplica o un reflejo de estructuras que existen en forma independiente, mientras que el constructivista permanece consciente del papel de la experiencia como el origen de todas las estructuras [...] para el constructivista no hay estructuras diferentes a las que erige el sujeto cognoscente mediante su propia actividad de coordinación de las partículas experienciales [Von Glasersfeld, 1987, p. 104].

Como se explicará en detalle en el capítulo IX, los realistas no necesitan hacer estas afirmaciones sobre la "reproducción" y la "reflexión"; ellos hacen afirmaciones sobre el mundo, pero reconocen que "hay más de lo que se ve a simple vista", y que las afirmaciones son el producto de las circunstancias sociales, personales y culturales.

En otro lugar, Von Glasersfeld escribe:

> No puedo caminar a través del escritorio que se encuentra frente a mí, igual que no puedo argumentar que lo negro es al mismo tiempo blanco. Sin embargo, lo que me limita no es lo mismo en ambos casos. Que el escritorio constituya un obstáculo para mis movimientos físicos se debe a los discernimientos particulares

que me permite hacer mi sistema sensible, y a la forma particular en la que he aprendido a coordinarlos. Si de pronto pudiera atravesar mi escritorio, esto dejaría de corresponder con las abstracciones que he derivado de la experiencia previa [Von Glasersfeld, 1990b, p. 24].

Este argumento es obviamente incorrecto. Para el realista la incapacidad de nuestro cuerpo de “atravesar” otro cuerpo no tiene nada que ver con nuestras capacidades sensibles y todo con la composición y la estructura de los cuerpos. Cambiar nuestras capacidades sensibles no nos permitirá atravesar una mesa hasta entonces impenetrable, así como cambiarnos la camisa tampoco. Que tengamos o no capacidad sensible no cambia en nada la penetrabilidad de la mesa; pensar que lo hace no es más que idealismo filosófico.

John Staver, un pedagogo de la ciencia de merecida fama, formuló la postura idealista ontológica como sigue: “Para los constructivistas, las observaciones, los objetos, los acontecimientos, los datos, las leyes y la teoría no existen en forma independiente de los observadores. La naturaleza legítima y segura de los fenómenos naturales es propiedad nuestra, de quienes describimos, y no de la naturaleza que es descrita” (Staver, 1998, p. 503).

De nuevo se trata de una postura errónea. Las observaciones y la teoría dependen claramente de nosotros, pero no de los objetos que observamos ni de sus estructuras. Cuando un autor menciona juntos los términos “observaciones”, “acontecimientos” y “objetos”, deben hacerse sonar las alarmas filosóficas. Para un realista, o para cualquier científico serio, existen diferencias categóricas entre estas clases. Sólo un idealista filosófico puede mencionarlas al mismo tiempo sin que suene la alarma, y cuando lo hace el caso idealista debe argumentarse, y no sencillamente asumirse.

Rosalind Driver, una pedagoga de la ciencia merecidamente famosa e influyente, afirmó con frecuencia la postura idealista. Escribió, por ejemplo: “La ciencia como conocimiento público no es tanto un ‘descubrimiento’ como una ‘construcción’ cuidadosamente verificada […] y los científicos construyen entidades teóricas (campos magnéticos, genes, orbitales atómicos…) que a su vez adquieren un carácter ‘real’” (Driver, 1988, p. 137).

Aquí se dice que la Tierra no tiene una estructura sino hasta que se la impone la geofísica; que no hay una estructura evolutiva en el mundo animal sino hasta que los biólogos le imponen una, que los átomos no tienen estructura hasta que los físicos se la imponen, etc. Uno se pregunta: ¿si las ondas gravitacionales son invento nuestro, de qué sirve gastar tanto tiempo y dinero buscándolas?

La forma argumental básica de Driver es falaz, a pesar de lo cual está muy extendida. El argumento tiene la forma:

Premisa: Algunos conceptos son una construcción humana.
Conclusión: Por lo tanto, el referente del concepto no existe.

No hay más que formular el argumento para comprobar que es una inferencia inválida, y que su validez depende de hacer explícita una premisa que se suprimió de la estructura:

> Premisa suprimida: Los conceptos que son construcciones humanas no pueden tener un referente real.

Pero esta premisa suprimida no es más que un dogma para el cual no se proporcionan evidencias. Los "orbitales electrónicos" y los "campos magnéticos" no son las únicas construcciones humanas; también "mi casa", "montaña", "mesa" y el resto de los términos observacionales que usamos. Si este popular argumento constructivista, que es el que usa Rosalind Driver, fuera válido, no sólo no existirían los orbitales electrónicos: tampoco mi casa, o las mesas en ella, o las montañas cercanas. De hecho, dado que el pronombre personal "Yo" es una construcción humana, los sujetos cognoscentes individuales podrían no existir tampoco. Sin embargo, estas consideraciones con frecuencia se desestiman como "nimiedades filosóficas".

El idealismo sociológico

El idealismo ontológico que han adoptado los constructivistas educativos refleja y alimenta un idealismo comparable común entre los nuevos sociólogos de la ciencia postmertonianos, en particular los asociados con la Escuela de Edimburgo.[17] En 1955, el importante sociólogo Émile Durkheim escribió que:

> Si el conocimiento ha de ser liberado, debe volverse el creador de su propio tema, y la única forma de alcanzar esta meta es concederle una realidad que tiene que hacer o fabricar él mismo. Por lo tanto, el pensamiento tiene como meta, no la reproducción de una realidad dada, sino la construcción de una realidad futura. Como consecuencia, el valor de las ideas ya no puede determinarse con referencia a los objetos, sino que debe determinarse por su grado de utilidad, su carácter más o menos "ventajoso" [Durkheim, 1972, p. 251].

La Escuela de Edimburgo ha dado continuidad a este idealismo. Latour y Woolgar dijeron, en algún momento, que la "'externalidez' es una consecuencia del trabajo científico, no su causa" (Latour y Woolgar, 1986, p. 182). Continúan diciendo que la realidad es la consecuencia, más que la causa, de la construcción científica. Y también afirman que "no sirve de mucho mantener la distinción entre la 'política' de la ciencia y su 'veracidad'" (Latour y Woolgar, 1986, p. 237). Otros colaboradores del programa de Edimburgo dicen cosas como que los planetas son "objetos culturales" (Lynch *et al.,* 1983). Harry Collins dice que "el mundo natural desempeña un papel pequeño o inexistente en la construcción del conocimiento científico" (Collins, 1981, p. 3). Woolgar suscribe el idealismo, diciendo que su programa de investigación "es congruente con la

postura de la rama idealista de la etnometodología que dice que no hay una realidad independiente de las palabras (textos, signos, documentos, etc.) que usamos para aprehenderla. En otras palabras, la realidad está conformada en y mediante el discurso" (Woolgar, 1986, p. 312).

Puede verse aquí que existe una confusión de ideas entre los objetos reales y los teóricos, y entre la actividad física y la intelectual. Todos los realistas reconocen que la realidad no se imprime así como así en las mentes de los científicos o los observadores; pocos han sido tan ignorantes como para sostener la teoría de la "reflexión" o de la "impresión" del conocimiento que se les endilga en los textos educativos. La ciencia no trata con objetos reales *per se,* sino con objetos reales tal como son representados por el aparato teórico de la ciencia: las bolas de colores en caída libre se convierten en masas puntuales con aceleraciones específicas, los campos de chícharos se convierten en fenotipos con características particulares, las soluciones burbujeantes se convierten en ecuaciones químicas, etc. La tradición científica, y científicos individuales, dedican una enorme cantidad de esfuerzo intelectual a crear estos objetos teóricos, con sus conceptos de fuerzas, masas, genes, células, especies, condiciones de equilibrio, etc. Que este aparato teórico haya sido construido por los humanos, y que los objetos naturales sólo se consideren dentro de sus atuendos teóricos, no implica que los objetos reales sean creaciones humanas, o que no desempeñen ningún papel en la forma en la que se aprecia el valor científico de las estructuras conceptuales que actúan sobre ellos.

En el constructivismo es normal pasar de las premisas que afirman que el conocimiento es una creación humana, que depende de factores históricos y culturales y que no es absoluto, a la conclusión de que las afirmaciones de conocimiento están erradas o son relativistas. El talento de Usain Bolt como corredor tiene causas indudablemente genéticas y culturales, pero no podemos concluir por ello que no sea el corredor más rápido que hemos cronometrado. Reconocer que ésta no es una afirmación absoluta (quién sabe cuántos corredores hay por ahí que no conocemos y cuya velocidad no hemos medido) significa que no podemos confiar en la premisa de que Bolt es más rápido que todas las alternativas conocidas. En el mundo del atletismo, entre el absolutismo y el relativismo se encuentra un falibilismo sensato; lo mismo ocurre en ciencia y en cualquier otro problema de juicio.

Hace más de 20 años, Wallis Suchting nos ofreció una crítica detallada, minuciosa y filosóficamente competente de la famosísima versión del constructivismo de Von Glasersfeld. Suchting concluye que:

> En primer lugar, buena parte de la doctrina que se conoce como "constructivismo" […] es sencillamente ininteligible. En segundo lugar, en la medida en que es inteligible […] está confundida. En tercer lugar, hay una ausencia completa de argumentación en defensa de las posturas que pueden discernirse […] En general, lejos de ser lo que afirma ser, es decir, la New Age de la filosofía de la ciencia, cualquier oído mínimamente sensible puede detectar la voz familiar de un empirismo subjetivista tradicional, muy primitivo, con algunos

matices de procedencia diversas, como Piaget y Kuhn [Suchting, 1992, p. 247].

Esta crítica fue ignorada, y la caravana constructivista siguió su camino.

La mayor parte de los constructivistas ven un vínculo entre las teorías constructivistas del aprendizaje y el conocimiento, por un lado, y la orientación pedagógica para los maestros, por el otro. La teoría constructivista del aprendizaje ha cruzado la frontera hacia las matemáticas, la cultura escrita y la pedagogía de la ciencia. Es por esto que el constructivismo ha sido adoptado en forma tan generalizada en los programas de formación de maestros de todo el mundo. Una respuesta a las críticas a la teoría constructivista es que aunque la teoría puede estar mal articulada e incluso tener problemas psicológicos y filosóficos, la pedagogía constructivista es valiosa y debería ser respaldada (Grandy, 1997). Esta postura es comprensible, pero descansa sobre un punto dudoso: ¿qué tan eficaz es la pedagogía constructivista para enseñar cualquier tema, en particular la ciencia? Una gran cantidad de investigaciones dicen que no mucho.

Las características de la enseñanza constructivista

Existen muchos métodos de enseñanza inspirados en el constructivismo y centrados en el alumno que incluyen el aprendizaje por proyectos, el aprendizaje mediante el descubrimiento y la enseñanza mediante la investigación. Uno de los constructivistas más importantes de la enseñanza de las matemáticas informa a los maestros que: "En constructivismo, una zona de construcción potencial de un concepto matemático específico está determinado por las modificaciones del concepto que los niños pueden construir en, o como resultado de la comunicación interactiva en el ambiente del aprendizaje matemático" (Steffe, 1992, p. 261). Esta oración de 38 palabras es característica de los textos constructivistas: es evidente que hay que añadir más información antes de que pueda "operacionalizarse" esta recomendación, o incluso volverse inteligible. Dos destacados constructivistas en la enseñanza de la ciencia nos ofrecen algunos consejos pedagógicos ampliados. Driver y Oldham (1986) explican que la enseñanza constructivista está conformada por una serie de etapas o pasos:

1) *Orientación,* donde a los alumnos se les da la oportunidad de desarrollar un sentido de propósito y motivación para aprender sobre el tema.
2) *Provocación,* durante la cual los alumnos manifiestan sus ideas actuales sobre el tema de la lección. Esto puede lograrse mediante diversas actividades, tales como una discusión grupal, la elaboración de carteles o la escritura.
3) *Reestructuración de ideas.* Éste es el corazón de la secuencia didáctica constructivista. Consiste en una serie de etapas, que incluyen:
   - *aclaración e intercambio de ideas,* durante los cuales pueden aclararse los

significados y el lenguaje de los alumnos mediante el contraste con los puntos de vista, posiblemente opuestos, de otros alumnos o los aportados por el maestro;
- *construcción de nuevas ideas* a la luz de las discusiones y demostraciones previas; aquí los alumnos pueden ver que existen diversas formas de interpretar fenómenos o evidencias;
- *evaluación de nuevas ideas,* tanto experimentalmente como analizando cuidadosamente sus implicaciones; los alumnos deberían tratar de descubrir las mejores formas de poner a prueba diferentes ideas alternativas. En esta etapa, los alumnos pueden sentirse insatisfechos con sus conceptos anteriores.

4) Aplicación de ideas, donde a los alumnos se les da la oportunidad de usar las ideas que desarrollaron en una diversidad de situaciones, tanto familiares como nuevas.

5) La *revisión* es la última etapa, en la cual se invita a los alumnos a reflexionar sobre la forma en la que pueden haber cambiado sus ideas estableciendo comparaciones entre lo que pensaban al principio de la sesión y lo que piensan al final.

Driver y Oldham comparan la última etapa de revisión con el énfasis en el aprender-sobre-aprender que Joseph Novak y Bob Gowin (Novak y Gowin, 1984) afirman que debería ser parte indispensable de la enseñanza. Es decir, al tiempo que aprenden nuevos temas, los alumnos deberían aprender cosas sobre el proceso del aprendizaje efectivo; esto también se ha llamado “metacognición” (White y Gunstone, 1989). ¿Es importante reconocer que esta “metacognición” debería ser tanto psicológica (¿cuál es la mejor forma de aprender algo?) como epistemológica (¿qué es lo que constituye conocimiento en el material que acabamos de aprender?)? Con frecuencia, la segunda dimensión se ignora o simplemente se da por sentada. En la tradición de la investigación educativa de la “epistemología” se le presta atención justamente a este tema.[18]

Es evidente que esta investigación debe tener raíces en la tradición de la epistemología filosófica, pues de otro modo se cometen con una facilidad sospechosa errores como el que sigue (aunque se usen calificadores engañosos como “puede estar”):

> La forma constructivista de aprendizaje puede estar asociada con maestros que poseen epistemologías sofisticadas, y una orientación hacia la concepción tradicional-transmisiva puede reflejar el apego de los maestros a epistemologías ingenuas asociadas con la autoridad omnisciente y el conocimiento cierto [Chan y Elliot, 2004, p. 819].

En otros lugares, se construyen escalas de “desarrollo epistemológico” que se usan para medir la eficacia de estrategias pedagógicas o intervenciones particulares; el extremo

constructivista se etiqueta "maduro" y el extremo realista, "inmaduro" (Guba y Lincoln, 1989). Algunos investigadores que al parecer confunden educación y adoctrinamiento les enseñan a los alumnos "realistas" lecciones concretas de constructivismo cuando su conversión no ha ocurrido durante el transcurso normal de la mediación constructivista:

> Si el desarrollo epistemológico fuera en parte un factor de la edad no habría más que esperar a que los alumnos se vuelvan constructivistas, que es el compromiso epistemológico más maduro de todos […] Sin embargo, exponer a los alumnos, sin más, a un ambiente en el cual está implícita la epistemología constructivista puede no ser suficiente [Roth y Roychoudhury, 1994, p. 28].[19]

Diseño curricular

Driver y Oldham dicen después que los diseñadores de planes de estudio constructivistas no pueden adoptar el modelo estándar de un alumno pasivo, un maestro activo y el plan de estudio como una cosa que el último le transmite a los primeros. Se requieren dos cambios: que el plan de estudios no se conciba como un cuerpo de conocimientos o habilidades, sino como un programa de actividades a partir del cual pueden adquirirse o construirse dichos conocimientos, y que el estatus del currículum pase de ser algo que se determina *a priori* de la enseñanza (aunque negociable entre adultos) a una cosa problemática.

Estos comentarios ejemplifican un problema del constructivismo: con frecuencia se extralimita. Emplea afirmaciones sobre procesos de aprendizaje y psicología del desarrollo (el núcleo original del constructivismo) para establecer posturas educativas y sociales más ambiciosas. Por ejemplo, el plan de estudios no se desprende únicamente de la teoría del aprendizaje. Ésta puede indicar cómo debe enseñarse algo, pero qué y cuánto enseñar y a quién, se decide mediante consideraciones diferentes o adicionales, tales como juicios sobre necesidades sociales y personales, las ventajas relevantes de diferentes ámbitos del conocimiento y la experiencia y, para terminar, decisiones políticas. Con frecuencia, los constructivistas ignoran estas consideraciones o las asumen implícitamente al extrapolar de la teoría del aprendizaje a los temas curriculares, y a la teoría educativa en general.

Por ejemplo, las afirmaciones de Driver y Oldham no arrojan mucha luz sobre el difícil asunto del desarrollo curricular. Rechazar el plan de estudios como un cuerpo de conocimientos o habilidades y afirmar que debería ser un programa de actividades a partir del cual puedan adquirirse estos conocimientos y habilidades no elimina la necesidad de especificar cuáles son éstos; sólo "le avienta" el problema a alguien más. Decir que el plan de estudios tiene un estatus problemático es ambiguo; los que pueden resultar problemáticos son algunos componentes particulares del plan, pero ésta es otra verdad autoevidente, puesto que siempre hay discusión sobre sus contenidos particulares:

¿debería incluirse la Gran Depresión en el plan de estudios de historia? Esto no quiere decir, sin embargo, que todos los contenidos particulares sean problemáticos; puede discutirse si se incluye la geometría en las matemáticas de secundaria, lo cual no significa que la geometría en sí misma sea un tema controversial.

Otros constructivistas respaldan el trabajo de teóricos educativos críticos como Michael Apple, Henry Giroux, Peter McLaren y otros. Jane Gilbert, por ejemplo, dice: "Hay muchos paralelos entre la bibliografía sobre el desarrollo de la pedagogía crítica [y] la bibliografía sobre el aprendizaje constructivista" (Gilbert, 1993, p. 35). Esto se debe, en parte, a que los teóricos críticos "cuestionan el valor de conceptos tales como individualismo, eficiencia, racionalidad y objetividad, y los tipos de planes de estudio y de pedagogías que han emanado de estos conceptos" (Gilbert, 1993, p. 20).

No se nos explica por qué en la enseñanza de la ciencia deberían valorarse la inconformidad, la ineficiencia, la irracionalidad y la subjetividad, pero no es inusual que se declare el apoyo a la teoría crítica sin enfrentar nunca las serias objeciones que ha enfrentado en círculos educativos más amplios. Francis Schrag, un expresidente de la US Philosophy of Education Society (PES), criticó así el trabajo de Giroux: "El artículo [de Giroux] no muestra respeto por la lógica, por la lengua inglesa ni por la causa que declara defender: la democracia" (Schrag, 1988, p. 143). Schrag cita, como un ejemplo del estilo de Giroux, un párrafo que merece ser reproducido íntegramente:

> En este caso, la noción de voz se desarrolla alrededor de una política de la diferencia y la comunidad que no tiene sus raíces únicamente en una celebración de la pluralidad, sino en una forma particular de comunidad humana que alienta y dignifica la pluralidad como parte de un esfuerzo continuo por desarrollar relaciones sociales en las que todas las voces se unifiquen, desde sus diferencias, en sus esfuerzos por identificar y evocar momentos de sufrimiento humano y la necesidad de superar las condiciones que perpetúan este sufrimiento.

Como se mostrará en el capítulo XII, este párrafo es representativo, por desgracia, de buena parte de los textos constructivistas, posmodernistas, educativos y supuestamente críticos, o educoblablá, como se le llama en forma despectiva. Es una enfermedad intelectual que una vez que se propaga se convierte en la norma. Aquí entra en operación una forma lingüística de la ley de Gresham en la cual se hacen posibles fraudes como el de Sokal. La filosofía puede contribuir al debate educativo promoviendo la comunicación clara; esto permite al menos identificar los errores y los razonamientos erróneos para que no persistan, arropados por una niebla oscurantista. Uno de los resultados básicos de la educación debería ser la habilidad de escribir con claridad y de expresar una opinión en forma inteligible. Si esto no se logra, casi todo lo demás está perdido.

Enseñar los contenidos de la ciencia

A muchos pedagogos de la ciencia les interesa descubrir cómo pueden usarse principios constructivistas para enseñar un cuerpo de conocimientos científicos que son en buena medida abstractos (pues dependen de conceptos tales como velocidad, aceleración, fuerza, genes, vectores), que están alejados de la experiencia (proposiciones sobre estructura atómica, procesos celulares, eventos astronómicos), que no tiene vínculos con ideas previas (nociones de virus, anticuerpos, el núcleo líquido de la Tierra, evolución, radiación electromagnética) y que son totalmente ajenos al sentido común y entran en conflicto con la experiencia, las expectativas y los conceptos cotidianos. Joan Solomon explicó bien el problema:

> El constructivismo siempre la ha dado la vuelta al aprendizaje concreto de un conjunto establecido de conocimientos […] Los alumnos descubrirán que las palabras se usan en formas nuevas y estandarizadas: algunos problemas que nunca antes se habían considerado como tales se resuelven de una forma que tiene que aprenderse y ensayarse. Durante un tiempo, todos los alumnos sienten que están en un territorio desconocido, y por más que cierren los ojos y traten de recordar el terreno que conocen bien jamás podrán aclimatarse [Solomon, 1994, p. 16].

Enseñar un conjunto de conocimientos no sólo implica enseñar los conceptos sino también los métodos, y un poco sobre la metodología, o teoría del método. Cómo puede enseñarse todo esto sin que los maestros les transmitan al menos algo de información a sus alumnos es sujeto de un debate candente. Es imposible que una persona aprenda a jugar ajedrez sin que se le informen de un modo u otro las reglas del ajedrez; el individuo no puede inventarlas por sí mismo. Al alumno que pregunta si la torre se puede mover en diagonal hay que contestarle que no; esta información puede y debe transmitirla una persona que sabe a una que no.

La eficacia de los métodos constructivistas

Durante mucho tiempo, los investigadores educativos han puesto en duda la supuesta eficacia del constructivismo o la pedagogía mínimamente guiada. El rostro público de este debate fue la controversia sobre la enseñanza de la cultura escrita, las famosas "guerras de la lectura". La eficacia del "lenguaje total" y de los programas de cultura escrita de "recuperación de la lectura" se han comparado con la enseñanza fonética en una infinidad de estudios. Tres décadas después, la conclusión ineludible es que la enseñanza constructivista no ayuda mucho a desarrollar habilidades lectoras y que es notablemente menos exitosa que su alternativa fonética no constructivista. Si bien aprender a hablar es una habilidad natural, aprender a leer no lo es y debe ser enseñada en forma explícita.

Hace 20 años, se documentó suficientemente que los innovadores programas

constructivistas de recuperación de la lectura (o de "lenguaje total") desarrollados en Nueva Zelanda no funcionaban, y cuando lo hacían se debía a la influencia de factores externos a las aulas (Matthews, 1995, cap. 2). Estos resultados no hicieron nada por detener el avance de la recuperación de la lectura a lo largo y ancho de las escuelas básicas del mundo ni para evitar que su fundadora, Marie Clay, fuera condecorada. Por desgracia, el resultado fue que se gastaran millones de horas de enseñanza y se frustrara la adquisición de cultura escrita de miles, si no es que millones, de niños, y que esto siga ocurriendo.[20] El reporte nacional más reciente en Nueva Zelanda analizó estudios realizados en estas dos décadas transcurridas y llegó a la conclusión original:

> Se identificaron tres factores interrelacionados que contribuyen al fracaso de la estrategia de adquisición de la cultura escrita en Nueva Zelanda: la rígida orientación constructivista de la enseñanza de la cultura escrita, la incapacidad para responder adecuadamente a las diferencias en el capital cultural de los niños en su ingreso a la escuela y políticas restrictivas durante el primer año de enseñanza de la cultura escrita [Tunmer *et al.,* 2013, p. 34].

Durante las igualmente públicas "guerras de las matemáticas", se discutieron exhaustivamente los mismos argumentos, con el mismo resultado: la enseñanza de las matemáticas de inspiración constructivista provoca entre los alumnos problemas de acalculia (Geary, 1995; Klein, 2007). Al presentar su opinión sobre estas investigaciones, un psicólogo afirmó que:

> comienza con un resumen y una crítica de los temas filosóficos básicos que guían actualmente la práctica educativa en Estados Unidos, en particular la perspectiva constructivista de la enseñanza de las matemáticas […] Al mismo tiempo, muchos de estos investigadores educativos han ignorado o rechazado un amplio conjunto de investigaciones y teorías psicológicas relevantes [Geary, 1995, p. 31].

Richard Mayer, expresidente de la División de Psicología Educativa de la American Psychological Association, exeditor de la revista *Educational Psychologist* y excoeditor de la revista *Instructional Science,* revisó, en un estudio emblemático, un amplio conjunto de investigaciones sobre pedagogía constructivista y llegó a la conclusión de que no funciona, y cuando funciona es en virtud de que abandona los principios constructivistas (Mayer, 2004). Este análisis fue confirmado por Kirschner, Sweller y Clark, que en un artículo de revisión argumentan que:

> Los últimos 50 años de investigación sobre este tema han recabado evidencias avasalladoras e inequívocas de que el aprendizaje no guiado o mínimamente guiado es significativamente menos efectivo y eficiente que la asesoría diseñada especialmente para apoyar el procesamiento cognitivo necesario para aprender. El aprendizaje mínimamente guiado no sólo resulta inútil para la mayor parte de los alumnos; incluso puede resultar perjudicial para algunos […] Lo mejor de las evidencias recabadas a lo largo del último medio siglo respalda la idea de que el aprendizaje mínimamente guiado no acentúa el logro estudiantil, del mismo modo que arrojar a alguien que no sabe nadar desde un bote a la mitad de un lago no ayuda a aprender a nadar [Kirschner *et al.,* 2006, p. 75].

Estas conclusiones parecen obvias, dictadas por la naturaleza misma de la disciplina científica. Quien aprende a jugar ajedrez debe ser informado de las reglas por alguien que las conoce; los alumnos no pueden inventar las reglas, no pueden negociarlas, e incluso si concluyen mediante una lluvia de ideas que las torres pueden moverse en forma diagonal, no quiere decir que ése sea el caso. El conocimiento de lo que se permite y lo que no se permite en ajedrez debe ser transmitido; de ahí en adelante volverse mejor depende no sólo de saber las reglas sino de recibir guías y ejemplos para comprobar cómo han respondido a situaciones similares jugadores más avanzados; ocurre lo mismo al aprender ciencia.

E. K. Hirsch Jr., en *The Schools We Need* [Las escuelas que necesitamos], documenta el impacto del constructivismo en Estados Unidos y concluye:

> En resumen, el término "constructivismo" se ha convertido en una especie de conjuro que se usa para defender el aprendizaje mediante el descubrimiento y que no está más autorizado por la teoría psicológica que cualquier otra forma de aprendizaje construido. Pretender que tiene méritos ejemplifica lo que quiero decir con "uso selectivo de la investigación" [Hirsch, 1996, p. 135].

El constructivismo está plagado de implicaciones educativas y culturales serias que pocas veces se reconocen y mucho menos se enfrentan. Todas las culturas construyen tradiciones y conocimientos que se transmiten en contextos formales e informales. Estas tradiciones atestiguan que las culturas que las conservan y transmiten están sanas; las nuevas generaciones no tienen que empezar de cero la tarea de construir significados. El constructivismo radical, con su aversión de principio a la transmisión del conocimiento, considera insignificante la tradición; de hecho, si se adopta en forma rigurosa, destruye la cultura tradicional. El núcleo de la cultura tradicional, y de hecho de cualquier cultura sana, es la transmisión de las creencias y las costumbres; que los constructivistas mantengan que el presunto conocimiento no puede transmitirse así es sencillamente ridículo y destruye la cultura.[21]

Por el otro lado, es sabido que durante siglos a la gente le ha parecido que las injusticias más abyectas, y los más grandes males, son perfectamente sensatos. La subyugación de las mujeres le pareció, y le sigue pareciendo, perfectamente natural a millones de personas y a montones de sociedades; explicar la enfermedad en términos de posesión diabólica le parece perfectamente normal a una infinidad de personas; la inferioridad intelectual de ciertas razas le parece perfectamente sensata a millones de personas, entre ellas algunos de los pensadores más avanzados; para algunos alemanes nazis muy sofisticados tenía sentido considerar a los judíos seres subhumanos y establecer programas de exterminación para ellos; el apartheid tenía sentido para los sudafricanos, y lo mismo pasaba en Estados Unidos con la discriminación racial hasta hace muy poco tiempo. La lista de atrocidades y estupideces que nos parecieron perfectamente sensatas en un momento u otro, en uno u otro lugar, es infinita. Está claro que apelar al sentido común no será suficiente para refutar estas ideas. Sin embargo, el atractivo de la verdad, o lo correcto, que es independiente de los deseos humanos de poder, tal vez sea suficiente para anular estas opiniones y prácticas. Respaldar la idea de que el poder es verdad no ayuda, indudablemente, a los intereses de los menos poderosos y los marginados; los derechos de las minorías siempre han sido mejor defendidos mediante la idea de que la verdad es poder. Al reconocer este y otros problemas, Michael Devitt comentó que:

> Tengo un candidato para la tendencia intelectual contemporánea más peligrosa. Es […] el constructivismo. El constructivismo es una combinación de dos ideas kantianas con el relativismo del siglo XX. Las dos ideas kantianas son, primero, que fabricamos el mundo que conocemos al imponerle conceptos y, segundo, que el mundo independiente es (en el mejor de los casos) una mera "cosa-en-sí-misma", para siempre más allá de nuestra comprensión […] [Si tomamos en cuenta] el papel que tienen en Francia, en las ciencias sociales, los departamentos de literatura y en algunos movimientos políticos básicamente bienintencionados pero confundidos, ha llevado a una auténtica epidemia de "construcción de mundos". El constructivismo ataca el sistema inmunitario que nos salva de la estupidez [Devitt, 1991, p. ix].

El relativismo y el subjetivismo del constructivismo están particularmente mal preparados para tratar los complejos problemas trans-sociales que enfrenta el mundo contemporáneo. Para ocuparse de los problemas ambientales, políticos y sociales urgentes, como los que azotan muchas partes de África, el Oriente medio y el subcontinente indio, los Balcanes y mucho más, hace falta aplicar en forma sistemática la razón ilustrada y rechazar el interés propio.[22] Karl Popper reconoció este aspecto social corrosivo del constructivismo cuando dijo:

> La creencia en la posibilidad de un imperio de la ley, de una justicia equitativa, del establecimiento de derechos fundamentales y de una sociedad libre pueden sobrevivir fácilmente al reconocimiento de que los jueces no son omniscientes y pueden cometer errores acerca de los hechos, y de que, en la práctica, la justicia absoluta nunca se realiza en un juicio legal particular. Pero esta creencia en la posibilidad de un imperio de la ley, de la justicia y de la libertad difícilmente puede sobrevivir a la aceptación de una epistemología para la cual no haya hechos objetivos, no solamente en un caso particular, sino en cualquier caso [Popper, 1963, p. 5] [*Conjeturas y refutaciones,* p. 25].

CONCLUSIÓN

Este capítulo ha dado algunos indicios sobre el enorme impacto del constructivismo sobre la teoría y la práctica de la enseñanza de la ciencia, y ha examinado las afirmaciones epistemológicas y ontológicas explícitas de los constructivistas. La conclusión general a la que se ha llegado es que, aunque se proponga un argumento a favor de sus posturas epistemológicas y ontológicas, se trata de argumentos débiles. El constructivismo equivale a reformular la teoría empírica estándar de la ciencia, y padece todos los defectos bien conocidos de dicha teoría.

Sin embargo, no hay por qué abandonar todas las prácticas didácticas interactivas y antidogmáticas que propone el constructivismo. Von Glasersfeld reconoce que: "Los buenos maestros […] han puesto en práctica mucho de lo que se sugiere aquí, sin ayuda de una teoría explícita del conocimiento […] su acercamiento ha sido intuitivo y exitoso" (Von Glasersfeld, 1989, p. 138). Otras epistemologías y otras teorías educativas también pueden sugerir y exigir una enseñanza humana, motivada, interactiva, antidogmática e intelectual dirigida al desarrollo de capacidades críticas y nociones sólidas. Está claro que puede tenerse lo mejor de la pedagogía constructivista sin la epistemología constructivista: Sócrates, Montaigne, Locke, Priestley, Mill y Russell son sólo algunos de los que han aparejado una pedagogía comprometida, de estilo constructivista, con una epistemología no constructivista. Desde la época de Sócrates, ésta ha caracterizado lo mejor de la educación liberal, pero, como ocurrió con Sócrates, los realistas y los no escépticos han sido preparados para desafiar las creencias más arraigadas de los alumnos, que a veces pueden verse reforzadas por un conjunto abrumador de experiencias de sentido común y por valores culturales muy profundos. En resumen, las cosas buenas que tiene el constructivismo han sido familiares durante mucho tiempo para la filosofía y la tradición liberal en educación, y lo que es nuevo en constructivismo es erróneo y es peligroso tanto para la educación como para la sociedad.

Ashton, P. T. (1992), "Editorial", *Journal of Teacher Education,* vol. 43, núm. 5, p. 322.

Bell, B. F. (1991), "A constructivist view of learning and the draft forms 1-5 science syllabus", *SAME Papers 1991,* pp. 154-180.

Bettencourt, A. (1993), "The construction of knowledge: A radical constructivist view", en K. Tobin (coord.), *The Practice of Constructivism in Science Education,* Washington, D. C., AAAS Press, pp. 39-50.

Bickhard, M. H. (1997), "Constructivism and relativisms: A shopper's guide", *Science & Education,* vol. 6, núms. 1-2, pp. 29-42. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 99-112.

Bowers, C. A. (2007), *The False Promises of Constructivist Theories of Learning: A Global and Ecological Critique,* Nueva York, Peter Lang.

Bruner, J. S. (1960), *The Process of Education,* Nueva York, Random House.

———— (1983), *In Search of Mind: Essays in Autobiography,* Nueva York, Harper & Row.

Bunge, M. (1991), "A critical examination of the new sociology of science: Part 1", *Philosophy of the Social Sciences,* vol. 21, núm. 4, pp. 524-560.

———— (1992), "A critical examination of the new sociology of science: Part 2", *Philosophy of the Social Sciences,* vol. 22, núm. 1, pp. 46-76.

Burr, J. E., y B. K. Hofer (2002), "Personal epistemology and theory of mind: Deciphering young children's beliefs about knowledge and knowing", *New Ideas in Psychology,* vol. 20, pp. 199-224.

Chan, K. W., y R. G. Elliott (2004), "Relational analysis of personal epistemology and conceptions about teaching and learning", *Teaching and Teacher Education,* vol. 20, núm. 8, pp. 817-831.

Cheung, K. C., y R. Taylor (1991), "Towards a humanistic constructivist model of science learning: Changing perspectives and research implications", *Journal of Curriculum Studies,* vol. 23, núm. 1, pp. 21-40.

Chinn, C. A., y B. A. Malhotra (2002), "Epistemologically authentic reasoning in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks", *Science Education,* vol. 86, pp. 175-218.

Collins, H. M. (1981), "Stages in the empirical programmes of relativism", *Social Studies of Science,* vol. 11, pp. 3-10.

Colliver, J. A. (2000), "Effectiveness of problema-based learning curricula: Research and theory", *Academic Medicine,* vol. 75, pp. 259-266.

———— (2002), "Constructivism: The view of knowledge that ended philosophy or

a theory of learning and instruction?”, *Teaching and Learning in Medicine,* vol. 14, núm. 1, pp. 49-51.

Confrey, J. (1990), “What constructivism implies for teaching”, en R. Davis, C. Maher y N. Noddings (coords.), *Constructivist Views on the Teaching and Learning of Mathematics,* Reston, National Council of Teachers of Mathematics, pp. 107-124.

Davis, B., y D. Sumara (2003), “Constructivist discourses and the field of education: Problems and possibilities”, *Educational Theory,* vol. 52, núm. 4, pp. 409-428.

Devitt, M. (1991), *Realism and Truth,* 2ª ed., Oxford, Basil Blackwell.

Driver, R. (1988), “A constructivist approach to curriculum development”, en P. Fensham (coord.), *Development and Dilemmas in Science Education,* Nueva York, Falmer Press, pp. 133-149.

Driver, R., y V. Oldham (1986), “A constructivist approach to curriculum development in science”, *Studies in Science Education,* vol. 13, pp. 105-122.

Duckworth, E. (1996), *The Having of Wonderful Ideas,* 2ª ed., *Nueva York,* Teachers College Press, Columbia University. [Hay edición en español: *Cómo tener ideas maravillosas y otros ensayos sobre cómo enseñar y aprender,* Madrid, Antonio Machado, 1994.]

Duit, R. (2009), *Bibliography–STCSE* <www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>.

Durkheim, É. (1972), *Selected Writings* (edición y traducción de A. Giddens, Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *Escritos selectos,* Buenos Aires, Nueva Visión, 1993.]

Fensham, P. J. (1992), “Science and technology”, en P. W. Jackson (coord.), *Handbook of Research on Curriculum,* Nueva York, Macmillan, pp. 789-829.

Fosnot, C. T. (coord.) (2005), *Constructivism: Theory, Perspectives, and Practice,* 2ª ed., Nueva York, Teachers College.

Geary, D. C. (1995), “Reflections of evolution and culture in children’s cognition: Implications for mathematical development and instruction”, *American Psychologist*, vol. 50, núm. 1, pp. 24-37.

Gergen, K. (1994), *Realities and Relations: Soundings in Social Construction,* Cambridge, Harvard University Press. [Hay edición en español: *Realidad y relaciones: Aproximaciones a la construcción social,* Barcelona, Paidós, 1996.]

———— (1999), *An Invitation to Social Construction,* Londres, SAGE.

Gilbert, J. (1993), “Constructivism and critical theory”, en B. Bell (coord.), *I Know About LISP but How Do I Put It Into Practice: Final Report of the Learning in Science Project (Teacher Development),* Hamilton, Centre for Science and Mathematics Education Research, University of Waikato.

Good, R., J. Wandersee y J. St. Julien (1993), “Cautionary notes on the appeal of the

new 'ism' (constructivism) in science education", en K. Tobin (coord.), *Constructivism in Science and Mathematics Education,* Washington, D. C., AAAS, pp. 71-90.

Grandy, R. E. (1997), "Constructivism and objectivity: Disentangling metaphysics from pedagogy", *Science & Education,* vol. 6, núms. 1-2, pp. 43-53. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 113-123.

Guba, E. G., e Y. S. Lincoln (1989), *Fourth Generation Evaluation,* Newbury Park, SAGE.

Hamlyn, D. W. (1973), "Human learning", en R. S. Peters (coord.), *The Philosophy of Education,* Oxford, Oxford University Press, pp. 178-194.

———— (1978), *Experience and the Growth of Understanding,* Londres, Routledge y Kegan Paul. [Hay edición en español: *Experiencia y desarrollo del entendimiento,* Madrid, Herder, 1980.]

Hirsch, E. D. (1996), *The Schools We Need and Why We Don't Have Them,* Nueva York, Doubleday. [Hay edición en español: *La escuela que necesitamos,* Madrid, Encuentro, 2012.]

Hirst, P. H. (1971), "What is teaching?", *Journal of Curriculum Studies,* vol. 3, núm. 1, pp. 5-18. Reimpreso en R. S. Peters (coord.), *The Philosophy of Education,* Oxford, Oxford University Press, 1973, pp. 163-177.

Hofer, B. K., y P. R. Pintrich (1997), "The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning", *Review of Educational Research,* vol. 67, núm. 1, pp. 88-140.

Kilpatrick, J. (1987), "What constructivism might be in mathematics education", en J. C. Bergeron, N. Herscovics y C. Keiran (coords.), *Psychology of Mathematics Education,* Actas de la Undécima Conferencia Internacional, Montreal, pp. 3-27.

Kirschner, P., J. Sweller y R. E. Clark (2006), "Why minimally guided learning does not work: An analysis of the failure of discovery learning, problem-based learning, experiential learning and inquiry-based learning", *Educational Psychologist,* vol. 41, núm. 2, pp. 75-96.

Kitcher, P. (2001), "Real realism: The Galilean strategy", *The Philosophical Review,* vol. 110, núm. 2, pp. 151-197.

Klein, D. (2007), "A quarter century of US 'math wars' and political partisanship", *Journal of the British Society for the History of Mathematics,* vol. 22, núm. 1, pp. 22-33.

Knorr-Cetina, K. (1983), "The etnographic study of scientific work: Towards a constructivist interpretation of science", en K. Knorr-Cetina y M. Mulkay

(coords.), *Science Observed: Perspectives on the Social Study of Science,* Londres, SAGE, pp. 115-140.

Kragh, H. (1998), "Social constructivism, the gospel of science and the teaching of physics", *Science & Education,* vol. 7, núm. 3, pp. 231-243. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination,* Dordrecht, Kluwer, pp. 125-137.

Kuhn, D., R. Cheney y M. Weinstock (2000), "The development of epistemological understanding", *Cognitive Development,* vol. 15, pp. 309-328.

Latour, B., y S. Woolgar (1986), *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts,* 2ª ed., Londres, SAGE (1ª ed., 1979). [Hay edición en español: *La vida en el laboratorio: La construcción de los hechos científicos,* Madrid, Alianza, 1995.]

Lave, J. (1988), *Cognition in Practice: Mind, Mathematics and Culture in Everyday Life,* Nueva York, Cambridge University Press.

Lerman, S. (1989), "Constructivism, mathematics, and mathematics education", *Educational Studies in Mathematics,* vol. 20, pp. 211-223.

Lincoln, Y. S., y E. G. Guba (1985), *Naturalistic Inquiry,* Newbury Park, SAGE.

Lynch, M., F. Livingstone y H. Garfinkel (1983), "Temporal order in laboratory work", en K. D. Knorr-Cetina y M. Mulkay (coords.), *Science Observed,* Londres, SAGE, pp. 205-238.

Matthews, M. R. (1993), "A problem with constructivist epistemology", en H. A. Alexander (coord.), *Philosophy of Education, 1992,* Urbana, US Philosophy of Education Society, pp. 303-311.

Matthews, M. R. (1995), *Challenging New Zealand Science Education,* Palmerston North, Dunmore Press.

——— (1998), "In defence of modest goals for teaching about the nature of science", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 35, núm. 2, pp. 161-174.

——— (2000), "Constructivism in science and mathematics education", en D. C. Phillips (coord.), *National Society for the Study of Education 99th Yearbook,* Chicago, National Society for the Study of Education, pp. 161-192.

Mayer, R. E. (2004), "Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction", *American Psychologist,* vol. 59, núm. 1, pp. 14-19.

McCarty, L. P., y T. A. Schwandt (2000), "Seductive illusions: Von Glasersfeld and Gergen on epistemology and education", en D. C. Phillips (coord.), *Constructivism in Education: 99th Yearbook of the National Society for the Study of Education,* Chicago, NSSE, pp. 41-85.

Neville, A. J. (2009), “Problem-based learning and medical education forty years on: A review of its effects on knowledge and clinical performance”, *Medical Principles and Practice,* vol. 18, pp. 1-9.

Niiniluoto, I. (1991), “Realism, relativism and constructivism”, *Synthese,* vol. 89, núm. 1, pp. 135-162.

Nola, R. (coord.) (1988), *Relativism and realism in science,* Dordrecht, Reidel.

———— (1997), “Constructivism in science and in science education: A philosophical critique”, *Science & Education,* vol. 6, núms. 1-2, pp. 55-83. Reproducido en M. R. Matthews (coord.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Debate,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 31-59.

———— (2003), “‘Naked before reality; skinless before the absolute’: A critique of the inaccesibility of reality arguments in constructivism”, *Science & Education,* vol. 12, núm. 2, pp. 131-166.

Norris, C. (1997), *Against Relativism: Philosophy of Science, Deconstruction and Critical Theory,* Oxford, Blackwell.

Novak, J. D., y D. B. Gowin (1984), *Learning How to Learn,* Nueva York, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *Aprendiendo a aprender,* Madrid, Martínez Roca, 2004.]

NRC (National Research Council) (2002), *Scientific Research in Education,* editado por R. J. Shavleson y L. Towne, Washington, D. C., National Academy Press.

Osborne, J. (1996), “Beyond constructivism”, *Science Education,* vol. 80, núm. 1, pp. 53-82.

Papayannakos, D. P. (2008), “Philosophical skepticism not relativism is the problem with the strong programme in science studies and with educational constructivism”, *Science & Education,* vol. 17, núms. 6, pp. 573-611.

Phillips, D. C. (1997a), “Coming to terms with radical social constructivsims”, *Science & Education,* vol. 6, núms. 1-2, pp. 85-104. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 139-158.

Phillips, D. C. (1997b), “How, why, what, when, and where: Perspectives on constructivism in psychology and education”, *Issues in Education,* vol. 3, núm. 2, pp. 151-194.

———— (2000), “An opinionated account of the constructivist landscape”, en D. C. Phillips (coord.), *Constructivism in Education,* Chicago, National Society for the Study of Education, pp. 1-16.

Piaget, J. (1972), *Psychology and Epistemology: Towards a Theory of Knowledge,* Harmondsworth, Penguin.

Popper, K. R. (1963), *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge,* Londres, Routledge y Kegan Paul. [Hay edición en español: *Conjeturas y refutaciones: El desarrollo del pensamiento científico,* Barcelona, Paidós, 1983.]

Quale, A. (2008), *Radical Constructivism. A Relativistic Epistemic Approach to Science Education,* Rotterdam, Sense Publishers.

Rodríguez, A. J. (1998), "Strategies for counterresistance: Toward sociotransformative constructivism and learning to teach science for diversity and understanding", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 35, núm. 6, pp. 589-622.

Roth, M.-W., y A. Roychoudhury (1994), "Physics students' epistemologies and views about knowing and learning", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 31, núm. 1, pp. 5-30.

Ryle, G. (1949), *The Concept of Mind,* Londres, Hutchinson. [Hay edición en español: *El concepto de lo mental,* Barcelona, Paidós, 2005.]

Scerri, E. R. (2003), "Philosophical confusion in chemical education research", *Journal of Chemical Education,* vol. 80, núm. 20, pp. 468-474.

Schlick, M. (1935), "Facts and propositions", *Analysis,* vol. 2, núm. 5, pp. 65-70.

Schommer, M. (1994), "Synthesizing epistemological beliefs research: Tentative understandings and provocative confusions", *Educational Psychology Review,* vol. 6, núm. 4, pp. 293-319.

Schrag, F. (1988), "Responde to Giroux", *Education Theory,* vol. 38, núm. 1, pp. 143-144.

Siegel, H. (1987), *Relativism Refuted,* Dordrecht, Reidel.

———— (1995), "Radical pedagogy requires 'conservative' epistemology", *Journal of Philosophy of Education,* vol. 29, núm. 1, pp. 33-46. Reproducido en su *Rationality Redeemed? Further Dialogues on an Educationl Ideal,* Nueva York, Routledge, 1997.

Slezak, P. (1994a), "Sociology of science and science education: Part I", *Science & Education,* vol. 3, núm. 3, pp. 265-294.

———— (1994b), "Sociology of science and science education. Part II: Laboratory life under the microscope", *Science & Education,* vol. 3, núm. 4, pp. 329-356.

———— (2010), "Radical constructivism, epistemology and dynamite", *Constructivist Foundations,* vol. 6, núm. 1, pp. 102-111.

———— (2014), "Constructivism in science education", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1023-1055.

Small, R. (2003), "A fallacy in constructivist epistemology", *Journal of Philosophy of*

Education, vol. 37, núm. 3, pp. 483-502.
Snook, I. A. (coord.) (1972), *Concepts of Indoctrination,* Londres, Routledge y Kegan Paul.
Solomon, J. (1994), "The rise and fall of constructivism", *Studies in Science Education,* vol. 23, pp. 1-19.
Staver, J. (1998), "Constructivism: Sound theory for explicating the practice of science and science teaching", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 35, núm. 5, pp. 501-520.
Steffe, L. P. (1992), "Schemes on action and operation involving composite units", *Learning and Individual Differences,* vol. 4, pp. 259-309.
Suchting, W. A. (1992), "Constructivism deconstructed", *Science & Education,* vol. 1, núm. 3, pp. 223-254. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1988, pp. 61-92.
Taber, K. S. (2009), *Progressing Science Education: Constructing the Scientific Research Programme into the Contingent Nature of Learning Science,* Dordrecht, Springer.
Tobias, S., y T. Duffy (coords.) (2009), *Constructivism Theory Applied to Instructions: Success or Failure?,* Hillsdale, Lawrence Erlbaum.
Tobin, K. (1991), "Constructivist perspectives on research in science education", conferencia presentada en la reunión anual de la National Association for Research in Science Teaching, Lake Geneva, Wisconsin.
——— (coord.) (1993), *The Practice of Constructivism in Science and Mathematics Education,* Washington, D. C., AAAS Press.
——— (2000), "Constructivism in science education: Moving on", en D. C. Phillips (coord.), *Constructivism in Education,* Chicago, National Society for the Study of Education, pp. 227-253.
Tunmer, W. E., J. W. Chapman, K. T. Greaney, J. E. Prochnow y A. W. Arrow (2013), *Why the New Zealand National Literacy Strategy has Failed and What can Be Done About It,* Masey, Massey University Institute of Education.
Van den Brink, J. (1991), "Didactic constructivism", en E. von Glasersfeld (coord.), *Radical Constructivism in Mathematics Education,* Dordrecht, Kluwer, pp. 195-227.
Von Glasersfeld, E. (1987), *Construction of Knowledge,* Salinas, Intersystems Publications.
——— (1989), "Cognition, construction of knowledge and teaching", *Synthese,* vol. 80, núm. 1, pp. 121-140.
——— (1990a), "Environment and communication", en L. P. Steffe y T. Wood

(coords.), *Transforming Children's Mathematics Education: International Perspectives,* Hillsdale, Lawrence Erlbaum, pp. 30-38.

———— (1990b), "An exposition of constructivism: Why some like it hot", en R. Davis, C. Maher y N. Noddings (coords.), *Constructivist Views on the Teaching and Learning of Mathematics,* Reston, National Council of Teachers of Mathematics, pp. 19-30.

———— (1995), *Radical Constructivism. A Way of Knowing and Learning,* Londres, The Falmer Press.

White, R. T., y R. F. Gunstone (1989), "Metalearning and conceptual change", *International Journal of Science Education,* vol. 11, pp. 577-586.

Wolpert, L. (1992), *The Unnatural Nature of Science,* Londres, Faber & Faber.

Woolgar, S. (1986), "On the alleged distinction between discourse and praxis", *Social Studies of Science,* vol. 16, núm. 2, pp. 309-317.

Yeany, R. H. (1991), "A unifying theme in science education?", *NARST News,* vol. 33, núm. 2, pp. 1-3.

IX. UN TEMA CENTRAL EN LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA Y EN LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA: EL REALISMO Y EL ANTIRREALISMO

La ciencia hace muchas preguntas filosóficas fundamentales que pueden formularse, a su vez, en las aulas de ciencia. Algunos de estos rasgos filosóficos de la ciencia se han discutido en el capítulo IV, durante la discusión sobre "Metafísica y presión atmosférica", en el capítulo V, al hablar de "Filosofía en el aula", en el capítulo VI, al desarrollar "El movimiento del péndulo", y en el capítulo VII, al discutir sobre "Priestley y la fotosíntesis"; otros más se discutirán en el capítulo XI, cuando nos ocupemos de "La naturaleza de la ciencia". Afortunadamente no hay necesidad de llevar filosofía a las aulas de ciencia: ya está allí. Sólo hay que identificarla y discutirla de forma tal que los alumnos puedan empezar a apreciar por sí mismos la dimensión filosófica de la ciencia y den sus primeros pasos en el pensamiento filosófico. La filosofía no es una carga más para los maestros: es parte de la materia que enseñan. Cualquier libro de texto, antología o enciclopedia que trate sobre filosofía de la ciencia tendrá capítulos, por ejemplo, sobre cambios teóricos, experimentación, idealización, revoluciones científicas, leyes, reducción, metáfora, analogía, modelos, causalidad, explicación, valores, metodología, observación, verdad, verdad aproximada, etc. Estos rasgos filosóficos pueden identificarse y desarrollarse en el salón de clases mientras se enseñan temas de rutina como evolución, genética, oxidación, mecánica, relatividad, electricidad, paleontología, fotosíntesis, etc. Mientras los alumnos realizan investigaciones, llevan a cabo experimentos, recolectan datos y proponen y prueban hipótesis, pueden señalárseles diferentes rasgos o aspectos de la filosofía de la ciencia relevantes para sus actividades.

Del mismo modo, la filosofía se encuentra presente en la mayor parte de los problemas teóricos que enfrentan los maestros, los diseñadores de planes de estudio y los funcionarios: la religión, el multiculturalismo, la estructura de las disciplinas, etc. En el capítulo anterior, se resumió uno de estos problemas teóricos, el constructivismo, que conduce naturalmente a discutir otro problema filosófico fundamental que ha resonado a lo largo de la historia de la ciencia y que influye mucho sobre lo que se enseña sobre la naturaleza de la ciencia: el debate entre los realistas y los antirrealistas respecto a los objetivos de la ciencia y la medida en la que las entidades teóricas que se postulan en las teorías científicas para explicar acontecimientos y fenómenos que son reales pueden conocerse. Este debate fundamental tiene ecos en muchas otras disputas en filosofía de la ciencia y con frecuencia se reproduce en la enseñanza de la ciencia, en donde pueden encontrarse investigadores y maestros muy enérgicos en ambos lados de la valla realista-no realista. Tanto los maestros como los alumnos pueden apreciar la discusión, y unirse a

ella, en una forma que haga evidente la dimensión filosófica de la ciencia.

La convicción realista básica es que el mundo y nuestro conocimiento del mundo son dos cosas diferentes; la forma en la que aprendemos una cosa y la cosa misma son idénticas. El hombre no es la medida de todas las cosas, como Protágoras puede no haber dicho. Bas van Fraassen nos proporciona esta definición compacta de realismo: "La ciencia busca hacer, con sus teorías, una narración literalmente cierta de cómo es el mundo; aceptar una teoría científica implica creer que es cierta" (Van Fraassen, 1980, p. 8).

Hay que señalar que el argumento que se desarrolla aquí versará sobre el realismo y el antirrealismo *científicos;* no hablaremos sobre antirrealismo "global" del tipo que puede encontrarse en el idealismo y el escepticismo filosóficos. El idealismo afirma que nada es real más allá del sujeto cognoscente; el mundo externo es un espejismo. Por su parte, el escepticismo asegura que existe una "realidad objetiva" (como acostumbran decir los constructivistas), pero que no podemos tener acceso a ella; hasta el mundo sensible (mesas, sillas, árboles) está eternamente fuera del alcance de nuestro conocimiento. Ningún científico, y pocos filósofos de la ciencia, sostienen estas posturas antirrealistas globales, y son irrelevantes para los maestros de ciencia. Sin embargo, algunos científicos y muchos filósofos de la ciencia respetables defienden el antirrealismo científico, y es sobre esta opinión que trabajaremos en el presente capítulo. También debe señalarse que el debate central, y tal vez el único, es sobre lo que las *teorías* científicas nos dicen o no sobre el mundo. Los argumentos tratan sobre construcciones teóricas y entidades explicativas, inobservables, como el campo magnético, el electrón, la atracción gravitacional y otras similares. Los argumentos filosóficos no suelen hacerse sobre las afirmaciones observacionales de la ciencia, al menos no directamente sobre los datos y las lecturas de los medidores; se hacen acerca de las explicaciones.

Es útil que reconozcamos que existe una familia "wittgensteiniana" de posturas realistas.[1] Todas tienen en común:

- un compromiso *ontológico* con la realidad y la independencia del mundo; las cosas y los acontecimientos externos, incluidos los inobservables, existen en forma independiente del sujeto cognoscente;
- un compromiso *semántico* con los vínculos entre las afirmaciones científicas y las cosas y los acontecimientos externos; la ciencia hace afirmaciones sobre el mundo;
- un compromiso *epistemológico,* es decir que la ciencia ha hecho algunas afirmaciones verdaderas, o aproximadamente verdaderas, sobre entidades y procesos tanto del mundo observable como del inobservable; el primero es el mundo cotidiano que nos revela la visión ordinaria (bolas de billar, peces, nubes, etc.) y el segundo lo indican instrumentos e inferencias (moléculas, átomos, campos magnéticos, proteínas, etcétera);

- un compromiso *axiológico* con el objetivo y el propósito de la ciencia de producir afirmaciones y teorías sobre el mundo que sean verdaderas; otros propósitos, como la utilidad o la ganancia económica, son secundarios, subproductos de la veracidad de la ciencia.[2]

Del mismo modo, hay una familia de posturas antirrealistas que están unidas por su rechazo, a veces por razones distintas, de una o todas las afirmaciones ontológicas, semánticas, epistemológicas y axiológicas de los realistas. La familia antirrealista incluye el positivismo, el empirismo, el instrumentalismo, el constructivismo, el empirismo constructivo, el idealismo y, por supuesto, toda la gama de posmodernismos. Los antirrealistas creen que el conocimiento científico se encuentra confinado al mundo de la experiencia o de los fenómenos sensibles, y que cualquier entidad teórica que se postule más allá de esta experiencia debe tratarse únicamente como una ayuda, una herramienta, un modelo o un recurso heurístico para coordinar los fenómenos sensibles u observables, pero no tiene existencia en sí misma. Además, el objetivo de la ciencia es producir teorías que predicen fenómenos y que conectan en forma económica —por lo general matemática— fragmentos de la experiencia.

En las referencias de las notas a pie de página se encontrarán elaboraciones, perfeccionamientos y defensas de cada una de las posturas realistas y antirrealistas que se mencionan aquí. Para ser congruentes con la metodología general de este libro, en este capítulo el debate se llevará a cabo con ayuda de ejemplos históricos que los maestros de ciencia reconocerán fácilmente, pues son ubicuos en los libros de texto y en los planes de estudio.[3] Desde el antiguo debate astronómico sobre las esferas cristalinas hasta la postura instrumentalista a la que el cardenal Bellarmine instó a Galileo, los acerbos debates entre los newtonianos y los cartesianos sobre la existencia de la atracción gravitacional, el debate del siglo XVIII, igualmente acalorado, sobre la existencia de "fluidos imponderables" como el calórico, los debates sobre la existencia de los átomos en los que se sumergieron Ernst Mach y otros en el siglo XIX, hasta la controversia entre Einstein, realista, y Bohr, instrumentalista, sobre la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica, el tema de la interpretación realista versus antirrealista de la teoría científica se ha encontrado en el centro de los debates sobre ciencia.

Todas las sociedades humanas han tratado de entender la estructura de los cielos: las estrellas, los planetas, el Sol, la Luna, los cometas, etc. Esta comprensión ha sido una auténtica mescolanza de religión, metafísica, cosmología, mitología, astrología y astronomía, si podemos usar en forma libre el término moderno. En la mayor parte de las sociedades estos elementos suelen presentarse juntos, si bien en diferentes épocas y lugares se le asigna mayor importancia a uno u otro. La historia de la astronomía, que es una materia escolar común, al menos en la parte que tiene que ver con el paso de una comprensión geocéntrica del sistema solar a una heliocéntrica, es un buen hilo para tender el contraste básico entre las ideas realistas y antirrealistas sobre la ciencia (y algunos temas recurrentes, como el papel de las matemáticas y la tecnología en la ciencia, la "interpretación" de las observaciones humanas, las fuentes opuestas de autoridad y veracidad en ciencia, y mucho más). En la introducción de la sección de astronomía de *Science for All Americans* [Ciencia para todos los estadunidenses], la American Association for the Advancement of Science (AAAS) dice:

> Para los observadores en la Tierra, parece que ésta permanece inmóvil y todo lo demás se mueve a su alrededor. Así, cuando las personas de la antigüedad trataron de imaginar cómo funciona el universo, tuvo sentido comenzar con esas verdades aparentes. Los antiguos pensadores griegos, en particular Aristóteles, establecieron un modelo que duraría unos 2 000 años: una Tierra grande e inmóvil en el centro del universo y, dispuestos alrededor de ella, el Sol, la Luna y unas diminutas estrellas situadas en una esfera perfecta, en las que estos cuerpos orbitaban en círculos perfectos y a velocidades constantes [AAAS, 1989, p. 112].

Éste es un retrato muy agradable y satisfactorio de los cielos, pero la filosofía natural (la ciencia naciente) hacía conjeturas sobre causas y mecanismos. Aquí es donde comienzan a separarse los realistas y los antirrealistas.

El empirismo platónico y el realismo aristotélico

En los debates del mundo antiguo sobre la dinámica planetaria o los mecanismos que guían su movimiento, pueden verse nacer las ideas realistas y antirrealistas que han perdurado hasta nuestros tiempos. Primero Anaximandro (c. 488-428 a. C.), luego Eudoxo (c. 409-356 a. C.), Calipo (370-300 a. C.) y Aristóteles (384-322 a. C.) propusieron que los planetas que se movían en forma regular estaban pegados a esferas cristalinas giratorias que los mantenían en movimiento constante y a distancias fijas unos de otros, de la Tierra y de las estrellas, que estaban a su vez incrustadas en la esfera más lejana que definía los límites del mundo. Los movimientos retrógrados y "acelerados" o "ralentizados" se explicaban al aumentar la cantidad de esferas; Eudoxo postuló 26,

Calipo 33 y Aristóteles 46 con el fin de dar cuenta de nuevas observaciones astronómicas.[4] Se necesitaban estos mecanismos, cada vez más complicados, para "guardar las apariencias" de los cuerpos celestes tal como podían verse desde la Tierra.

Existe una discusión académica sobre qué tan en serio se tomaban las esferas estos prearistotélicos, pero en la *Metafísica* y en *De los cielos* de Aristóteles resulta claro que se les concede una existencia física; Aristóteles afirma que están compuestos del inmutable quinto elemento, el éter. Se trataba de las esferas "cristalinas" de la filosofía natural posterior. Las esferas, por supuesto, necesitaban su propio motor, que para Aristóteles fue el Primer Motor, que más tarde la tradición helenista cristiana identificaría con Dios.[5]

Sin embargo, el realismo astronómico tenía sus propios desafíos antirrealistas. Platón validó las interpretaciones no realistas de la filosofía natural; lo sabemos gracias a los comentarios de Simplicio (490-560 d. C.), el neoplatonista que dice sobre Platón que:

> establece el principio de que el movimiento de los cuerpos celestes es circular, uniforme y constantemente regular. Por tanto, les plantea a los matemáticos el siguiente problema: ¿Qué movimientos circulares, uniformes y perfectamente regulares deben admitirse como hipótesis para poder guardar las apariencias presentadas por los planetas? [Duhem, 1908/1969, p. 5]. [Steven Weinberg, *Explicar el mundo. El descubrimiento de la ciencia moderna,* Madrid, Taurus, 2015].

Platón le pidió a los astrónomos y a los matemáticos un modelo del movimiento de los cuerpos celestes que se adaptara a los fenómenos astronómicos y permitiera predecirlos: el movimiento diario del Sol, el movimiento mensual de la Luna, los momentos de salida y puesta de los planetas, los cambios de estación, la regresión planetaria, los periodos de los planetas, los momentos de los equinoccios y otros asuntos. El modelo no tenía que responder a la realidad, sólo al principio metafísico que exigía que los movimientos celestes fueran circulares y congruentes con los acontecimientos astronómicos y pudieran predecirlos; el modelo matemático sólo era un artilugio para calcularlos.

Euxodo, alumno de Platón, aceptó el desafío. Thomas Heath escribe:

> No parece que Eudoxo especulara sobre las causas de los movimientos rotacionales o la forma en la que se transmitían de una esfera a otra; tampoco se preguntó sobre el material del que estaban conformadas [...] Parece que no le asignó a sus esferas ninguna sustancia o conexión mecánica; el sistema no era más que una hipótesis geométrica, o un conjunto de construcciones teóricas calculadas para representar los recorridos aparentes de los planetas y permitir que se cuadraran [Heath, 1913/1981, p. 196].

Más tarde, Claudio Tolomeo (90-168), en su famoso *Almagesto,* rechazó las esferas y propuso una astronomía matemática e instrumentalista. Sus planetas se movían en ciclo circulares, epiciclos y deferentes que estaban conformados de tal modo que "guardaran las apariencias" que habían catalogado los astrónomos. Tolomeo privilegió, tal como hizo

Platón, el movimiento circular metafísico, pero abandonó el realismo fuerte aristotélico de las esferas cristalinas a favor de una construcción estrictamente geométrica, y aceptó sólo formalmente mecanismos tales como las almas o las inteligencias planetarias. Tras reconocer la división aristotélica de la filosofía en ramas teóricas y prácticas, Tolomeo notó que "Aristóteles también divide, con mucho acierto, lo teórico en tres géneros intermedios: el físico, el matemático y el teológico" (Tolomeo, 1952 p. 5). Tolomeo adopta las matemáticas y rechaza el primero y el tercero, al decir:

> los otros dos géneros de lo teórico se expondrían en términos de conjetura en vez de comprensión científica: el teológico porque no puede ser fenoménico ni asequible, y el físico porque la materia es inestable y oscura, así que por esta razón los filósofos jamás podrán ponerse de acuerdo sobre él […] sólo el matemático, si se aborda en forma inquisitiva, puede darle a sus practicantes un conocimiento cierto y confiable [Tolomeo, 1952, pp. 5-6].

Arthur Koestler (1905-1983) describe así la situación:

> Después de Aristóteles, la astronomía se convierte en una geometría abstracta del cielo divorciada de la realidad física […] Tiene un propósito práctico: servir de método para calcular tablas de los movimientos del Sol, la Luna y los planetas; pero no tiene nada que decir en cuanto a la naturaleza real del universo [Koestler, 1964, p. 77].

En esta tradición instrumentalista, algunos eran *epistemológicamente* antirrealistas sobre los mecanismos planetarios; decían que podían existir tales mecanismos, pero no tenemos acceso a ellos. Otros eran *ontológicamente* antirrealistas sobre los mecanismos; decían que no existían bases para postular su existencia. Por supuesto, todos eran realistas sobre los planetas y los cuerpos celestes; tendrían que pasar otros 2 500 años para que se pusiera de moda pensar que los cuerpos existen y dejan de existir según quién piense sobre ellos o postule que están ahí.

Sin embargo, el antirrealismo no prevaleció. Puesto que Aristóteles estableció un sistema filosófico y "científico" general que acomodaba bien su dinámica planetaria, su astronomía realista, con sus esferas concéntricas reales, vivió durante 1 500 años más.[6]

El realismo copernicano y galileanocontra el instrumentalismo de Osiander

En su libro *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* (Copérnico, 1543/1952), Nicolás Copérnico (1473-1543) resucitó el antiguo programa astronómico realista. Copérnico creía que tanto la astronomía como la física debían proponer hipótesis que satisficieran la exigencia de Platón de hacer predicciones y de preservar los fenómenos y que al mismo tiempo estuvieran en correspondencia con el mundo. Para ello, resucitó el antiguo pero ignorado modelo heliocéntrico de Aristarco de Samos, con una Tierra móvil. En su

dedicatoria al papa Pablo II, Copérnico dice sobre la tradición tolemaica:

> Por otra parte, los que diseñaron las excéntricas parecen haber resuelto mejor el problema de los movimientos aparentes mediante cálculos apropiados. Pero al mismo tiempo introdujeron una buena cantidad de ideas que aparentemente contradicen los primeros principios del movimiento uniforme.[7]

Mientras Copérnico yacía en su lecho de muerte, Andreas Osiander (1498-1552), el erudito luterano al que se le encargó ocuparse de la publicación de las *Revoluciones,* incluyó un prefacio que encarna las ideas empiristas e instrumentalistas de la teoría científica. Dice que en parte:

> Porque es deber de un astrónomo componer la historia de los movimientos celestes mediante la atenta y hábil observación. Luego, volviéndose a las causas de esos movimientos o hipótesis acerca de ellos, debe concebir y elaborar, puesto que no puede de ninguna manera alcanzar las auténticas causas, aquellas hipótesis que permitan calcular correctamente los movimientos a partir de los principios de la geometría […] estas hipótesis no necesitan ser ciertas o siquiera probables; si proporcionan un cálculo consecuente con las observaciones, eso solo basta [Duhem, 1908/1969, p. 66].

Este prefacio instrumentalista es muy parecido a la declaración de Ernst von Glasersfeld citada en el último capítulo: "nuestro conocimiento es útil, relevante, viable […] si resiste el análisis de la experiencia y nos permite hacer predicciones […] no nos da ninguna pista sobre cómo puede ser el mundo 'objetivo'". Esta similitud no sorprende: el constructivismo es una epistemología instrumentalista, como admite con gran franqueza George Bodner, un constructivista estadunidense:

> El modelo constructivista es una perspectiva instrumentalista del conocimiento. El conocimiento es bueno cuando funciona, cuando nos permite alcanzar nuestras metas […] Es una postura parecida a la que adoptó Osiander, que sugirió en el prefacio de *De Revolutionibus* de Copérnico "Porque estas hipótesis no necesitan ser ciertas o siquiera probables; si proporcionan un cálculo consecuente con las observaciones, eso solo basta" [Bodner, 1986, p. 874].

Galileo (1564-1642) adoptó la hipótesis copernicana alrededor de 1600. Por supuesto, esta hipótesis era polémica tanto científica como teológicamente. En 1615 el ilustre cardenal Robert Bellarmine (1542-1621) le propuso a Galileo el tipo de empirismo e instrumentalismo que Osiander había endilgado de manera tan taimada a Copérnico. El cardenal dijo:

> Me parece que [Vuestra reverencia y Galileo] proceden con prudencia al limitarse a hablar en términos hipotéticos y no de modo absoluto, como siempre ha sido mi opinión que habló Copérnico. Puesto que no hay peligro en decir que, asumiendo que la Tierra se mueve y el Sol permanece fijo, uno guarda mejor las apariencias que al postular excéntricas y epiciclos; y esto es suficiente para el matemático. Sin embargo, es diferente el deseo de afirmar que el Sol realmente es el centro del mundo […] Esto es algo muy peligroso [Finocchiaro, 1989, p. 67].

Sin embargo, Galileo no aceptó la rama de olivo instrumentalista que le tendió Bellarmine; él mantuvo un realismo muy decidido sobre la hipótesis copernicana. En sus *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* (1632), repite la afirmación que hace Copérnico contra Tolomeo: "Por más que le satisfaga al astrónomo como calculista, no hay satisfacción ni paz para el astrónomo como científico […] si bien las apariencias celestiales pueden guardarse mediante supuestos esencialmente falsos en naturaleza, sería mucho mejor si pudiéramos derivarlas de suposiciones verdaderas" (Galileo, 1632/1953, p. 341).

El realismo de Galileo se vio respaldado y reforzado por sus observaciones a través del telescopio. Esta historia es muy conocida.[8] Como escribe Galileo en 1610: "Hace ya alrededor de diez meses me llegó un rumor de que un cierto neerlandés había fabricado un anteojo, merced al cual los objetos visibles, aunque muy alejados del ojo del espectador, se veían nítidamente como si estuviesen cerca" (Galileo, 1610/1989, p. 36).

Ese mismo año, construyó su propio telescopio y realizó sus monumentales observaciones de la Luna y Júpiter. Los empiristas e instrumentalistas contemporáneos sencillamente negaron que lo que Galileo comunicaba fuera real; aseguraban que todo era producto de sus ojos y de la dudosa tecnología de los nuevos instrumentos.

Además, las afirmaciones de Galileo violaban un compromiso metafísico que tenía 2 000 años de antigüedad: el de la separación ontológica de los reinos terrestre y celeste. Este último era inmutable, perfecto e incorruptible; el primero era mutable, imperfecto y corruptible. Estos reinos no tenían nada en común. Los dibujos que hizo Galileo de la Luna no podían interpretarse en forma realista, puesto que mostraban que la Luna era como la Tierra, y también demostró que Júpiter mismo tenía lunas: la ciencia y la metafísica estaban enfrentadas. En el siglo XVII, los oponentes de Galileo usaron versiones de lo que 400 años más tarde se volvería común en los textos constructivistas de enseñanza de la ciencia: "no tenemos un acceso independiente a la realidad; no sabemos qué hay realmente allí afuera".[9] La respuesta de Galileo al escepticismo filosófico fue fijar su telescopio en iglesias cercanas, torres y barcos cercanos al puerto y preguntar si lo que se veía correspondía, aproximadamente, a lo que se veía a simple vista, y si cualquier imperfección podía compensarse mejorando el instrumento. Así, pudo demostrar, en forma empírica, la verdad de las afirmaciones astronómicas que iban en contra de la metafísica de la época. Éste es un motivo recurrente en la historia de la ciencia.

Isaac Newton (1642-1727) era un realista en la tradición de Aristóteles y Galileo. Propuso un mecanismo (la atracción gravitacional) que hacía mover los planetas y que confirmaba las leyes celestes del movimiento planetario que descubrió Kepler y las del movimiento terrestre que descubrió Galileo. A su realismo se debe que insistiera en la existencia del espacio y del tiempo absolutos, en oposición a quienes mantienen que sólo existen el espacio y el tiempo relativos, el espacio y el tiempo de nuestra experiencia. En su escolio sobre el espacio y el tiempo, Newton dice:

> Pero como las partes del espacio no pueden verse o distinguirse unas de otras mediante nuestros sentidos, les aplicamos medidas sensibles […] Por lo cual usamos lugares y movimientos relativos en vez de absolutos, sin inconveniente alguno en los asuntos comunes, aunque en disquisiciones filosóficas debamos hacer abstracción de nuestros sentidos y considerar las cosas mismas, distinguiéndolas de sus medidas sensibles [Newton, 1729/1934, p. 8] [Madrid, Editora Nacional, p. 231].

Newton también era un realista en lo que se refería a las fuerzas: cuando un cuerpo aceleraba, incluso si se movía en forma estable en una órbita, había una fuerza real que actuaba sobre él: algo hacía que el cuerpo acelerara. Las fuerzas no eran únicamente herramientas o convenciones útiles para unir entre sí las ubicaciones sucesivas de un cuerpo en movimiento. La fuerza era la responsable de que el cuerpo se moviera; tenía el mismo estatus ontológico que el cuerpo mismo. Por ejemplo, aunque en la caída libre y en los movimientos planetarios sólo podían observarse los cuerpos en aceleración, Newton creía que había una fuerza real e invisible que era la responsable de ella. Es bien sabido que los filósofos mecánicos Huygens y Leibniz rechazaron estas fuerzas; para ellos las fuerzas sólo ocurrían durante el contacto, a partir de la colisión de los cuerpos. Pero Newton siguió siendo firmemente realista sobre estas fuerzas; para él, la fuerza era una construcción teórica postulada para explicar los eventos observacionales;[10] no era, por usar un concepto metodológico común en psicología, una variable intermedia que sólo servía para vincular otras variables en forma matemática (Meehl y MacCorquodale, 1948); tampoco era, como Mach afirmaría más adelante, una estrategia conveniente para economizar el pensamiento.

El obispo George Berkeley (1685-1753), en su *De Motu* [Sobre el movimiento], de 1721, continuó este ataque empírico a la existencia de la atracción gravitacional, pero también presentó argumentos contra la existencia de las fuerzas en general. Berkeley dijo: “La fuerza, la gravedad, la atracción y otros términos similares son convenientes para los propósitos del razonamiento y para los cálculos del movimiento y los cuerpos en movimiento, pero no para la comprensión de la naturaleza misma del movimiento” (Berkeley, 1721/1901, p. 506).

Este texto es una ampliación de una obra anterior, su *Principles of Human*

Knowledge [Tratado sobre los principios del conocimiento humano], de 1710, un argumento idealista en contra de la existencia extrasensorial. Allí dice:

> la totalidad del coro celestial y de los objetos terrenales, en una palabra, todos los cuerpos que componen la imponente armazón del mundo, carecen de subsistencia sin una mente; que su ser es su ser percibido o conocido […] que cualquiera considere aquellos argumentos que, según se piensa, prueban manifiestamente que los colores y el sabor existen sólo en la mente, y descubrirá que con igual fuerza pueden ser utilizados para probar lo mismo de la extensión, la figura y el movimiento [Berkeley, 1710/ 1962, pp. 67-71].[11] [*Tratado sobre los principios del conocimiento humano,* trad. Elías Capriles, <http://webdelprofesor.ula.ve/humanidades/elicap/en/uploads/Biblioteca/ Berkeley_TreatiseEC.pdf>.]

La teoría atómica es un ejemplo maravilloso de una discusión de 2 500 años de edad entre las interpretaciones realistas y las instrumentalistas-empiristas-constructivistas de los objetivos de la ciencia y de la interpretación de la teoría científica. La teoría atómica moderna abarca varios ámbitos y disciplinas científicas; conecta, inevitablemente, la ciencia con la filosofía; es la base de muchas tecnologías domésticas, de las comunicaciones, médicas, industriales y militares modernas, y aparece en los planes de estudio de grados superiores (y no tan superiores) de todo el mundo, de modo que para la tesis de este libro es adecuado examinar de qué formas las consideraciones históricas y filosóficas pueden contribuir a entenderla mejor y eventualmente a enriquecer la comprensión de los alumnos sobre la naturaleza de la ciencia.

Los *Next Generation Science Standards* de Estados Unidos mencionan a los átomos como parte de sus conceptos transversales. Dicen así:

> Por ejemplo, la estabilidad del libro que se encuentra sobre la mesa depende del hecho de que las diminutas distorsiones que ocasiona el empuje del libro sobre la mesa provoca cambios en las posiciones de los átomos en ella. Estos cambios alteran las fuerzas entre átomos, lo que conduce a cambios en la fuerza de empuje que ejerce la mesa sobre el libro [NRC, 2013, p. 100].

Se trata de una imagen engañosamente simple que puede precisarse de manera considerable, además de hacerse más interesante y desafiante, con ayuda de un poco de historia y de filosofía. Cuando la enseñanza de la ciencia cuenta con contribuciones de la historia y filosofía de la ciencia, es posible aminorar la “fe ciega” que suele formar parte de la enseñanza de la ciencia y que es tan evidente en la cita anterior, se fomenta el vínculo con una importante tradición científica y se cultiva la epistemología o teoría embrionaria del conocimiento de los alumnos. Aquí mencionaremos algunos aspectos de la historia del atomismo y su debate filosófico asociado con el propósito de dar una idea sobre la contribución de la historia y filosofía de la ciencia para la enseñanza de la ciencia en el aula. Por suerte, no faltan estudios sobre la historia y la filosofía del atomismo.[12]

Los orígenes del atomismo

El atomismo tiene sus orígenes en la filosofía presocrática, en particular en el materialismo de Leucipo y Demócrito, que sostenían que los componentes básicos de la materia eran diminutos átomos materiales e invisibles, y que no existía nada más que átomos y vacío. Demócrito ha recibido, justamente, el crédito de ensayar explicaciones “naturales” —y no míticas, animistas, religiosas, antropomórficas o teleológicas— para los acontecimientos y procesos naturales, y por reconocer que en el mundo hay más de

lo que podemos ver a simple vista.

En un estudio reciente y muy completo sobre la historia del atomismo, Alan Chalmers (2009) ve dos problemas básicos con su versión antigua: en primer lugar, estas explicaciones atómicas siempre eran posteriores al acontecimiento; no predecían experiencias o acontecimientos, sino que sólo proporcionaban "explicaciones" posteriores; en segundo lugar, las explicaciones que ofrecían no eran determinadas: podía haber cualquier cantidad de combinaciones de formas y tamaños atómicos que "explicaban" igual de bien el acontecimiento o la propiedad observados. Para Chalmers, este atomismo temprano era de naturaleza filosófica y no científica; equivalía a un "gesto" que no guiaba ninguna práctica productiva. "Más que una fuente de inspiración para un atomismo científico viable, el atomismo filosófico constituía un obstáculo para éste que debía ser trascendido" (Chalmers, 2009, p. 265).

Es bien sabido que la visión del mundo atomista, desordenada, caótica, indeterminada, mecánica, fue remplazada por la concepción aristotélica de una naturaleza ordenada, teleológica, significante, "organísmica". Ésta parecía acomodar mejor la experiencia cotidiana de la intencionalidad, el esfuerzo y el crecimiento ordenado de todas las cosas que rodeaban a la gente. Por más que se agitaran, las semillas de roble se convertían en robles, no en plantas de tomate o en ratones; parecía haber algo intrínseco a la semilla, diferente de los átomos, que "gobernaba" su crecimiento y su interacción con el medio ambiente. Aristóteles desarrolló un armazón filosófico sistemático en el cual la Materia, la Forma, el Acto y la Potencia eran las categorías básicas; éstas serían las guías para la filosofía natural (ciencia) aristotélica durante los 2 500 años siguientes.

El atomismo del siglo XVII

Los filósofos naturales del siglo XVII asociados con la revolución científica resucitaron algunas versiones del antiguo atomismo como parte de sus combates contra el aristotelismo dominante. Galileo fue uno de los primeros que adoptaron nuevamente la ontología atomista, una postura que expresó originalmente en *El ensayador* (Galileo, 1623/1957), donde propuso que los movimientos "atómicos" invisibles son la causa del calor. Dice:

> Pero primero debo considerar qué es lo que llamamos calor, pues sospecho que la gente en general tiene sobre él un concepto que está muy lejano de la verdad. Puesto que creen que el calor es un fenómeno, o propiedad, o cualidad real que reside de hecho en los materiales que nos hacen sentirnos abrigados [Galileo, 1623/1957, p. 274].

Galileo pensaba que lo que determinaba todos los estados, procesos y fenómenos externos y perceptibles era la forma, el tamaño, el movimiento y las colisiones de

diminutos “átomos” o corpúsculos invisibles. Aquí no había lugar para el desarrollo de la Forma o la Potencia aristotélicos. Como veremos en el capítulo X, la Iglesia católica romana reconoció de inmediato la amenaza que representaba esta ontología rediviva para su propio conjunto de enseñanzas filosófico-teológicas.

Robert Boyle (1627-1691) promovía la filosofía corpuscular o mecánica, pero se cuidó bien de aislar la teología del alcance de dicha filosofía. Así, el alma eterna, la mente, la gracia divina, la actividad de los ángeles y el resto de la rica constelación de las cosas que existían en la cristiandad se encontraban fuera del alcance del nuevo (o viejo) sistema de Boyle, en el que no había más que átomos o vacío. Newton, el más importante científico del siglo XVII, defendía la nueva filosofía, que en realidad era la recuperación de la visión mecánica del mundo. Desde sus días como estudiante, Newton acogió los métodos matemáticos de Galileo, así como su copernicanismo, su experimentalismo, su rechazo de la física de Aristóteles y de la filosofía escolástica y su emergente atomismo.[13]

El instrumentalismo de Ernst Mach

Ernst Mach (1838-1916) introdujo el estándar empirista e instrumentalista en la gran guerra filosófica de principios del siglo XX: la existencia o inexistencia de los átomos y las moléculas, el sentido o falta de sentido de la hipótesis atómica. Mach rechazó públicamente el atomismo en su *History and Root of the Principle of the Conservation of Energy* [Historia y raíces del principio de conservación de la energía]. Allí sostiene que la hipótesis es inútil y no ha contribuido en nada a lo que ya nos ha dicho el conocimiento fenoménico. Mach argumenta:

> Pero supongamos por un momento que todos los acontecimientos físicos pueden reducirse a movimientos en el espacio de partículas (moléculas). ¿Qué podemos hacer con este supuesto? Así suponemos que las cosas que no pueden verse o tocarse y que sólo existen en nuestra imaginación y entendimiento sólo pueden tener las propiedades y relaciones de las cosas que pueden tocarse. Le imponemos a la creación de pensamiento los límites de lo visible y lo tangible [...] En una teoría completa deben corresponder, a todos los detalles del fenómeno, detalles de la hipótesis, y todas las reglas para este pensamiento hipotético también deben poder transferirse directamente al fenómeno. Pero entonces la moléculas no son más que una imagen sin valor [Mach, 1872/1911, p. 49].

Los átomos no eran la única aversión de Mach; su negativa a exaltar cualquier construcción teórica era una postura muy católica. Por ejemplo, dijo que la atracción gravitacional newtoniana no sólo era incognoscible sino que no existía: la gravitación no era más que una construcción humana útil para la economía del pensamiento y para la matematización de ciertas relaciones experimentales. Mach reconoció en Berkeley y Hume filósofos con ideas análogas (aunque él desarrolló las suyas antes de leerlos).

El gran adversario de Mach fue Max Planck (1858-1947), quien durante un tiempo compartió, como casi todos los físicos de su generación, la perspectiva empirista de Mach (Heilbron, 1986, pp. 44-46). Richard Millar apunta, sobre estos esfuerzos constructivistas por conservar las teorías que tienen éxito pero no comprometerse con sus referentes:

> La mayor parte de los métodos y las perspectivas características de la filosofía de la ciencia moderna pueden rastrearse hasta finales del siglo XIX, cuando algunos físicos y químicos de inclinación filosófica, sobre todo en Austria y en Alemania, trataron de demostrar cómo podían conservarse los frutos de la mecánica clásica, la electrodinámica de Maxwell y la química atómica sin tener que comprometerse con las entidades características de cada una de estas teorías [Miller, 1987, p. 351].

Durante su fase machiana, Planck se opuso a la interpretación atómica de Boltzmann de la segunda ley de la termodinámica. Tras su propio trabajo sobre la radiación de cuerpo negro, en 1900, se pasó al campo realista y atomista. Como ocurrió con muchos conversos, se volvió más realista que los realistas: mantenía que los átomos eran tan reales como los planetas, y probablemente se veían igual, sólo que a pequeña escala (Toulmin, 1970, p. 24).

La primera vez que Planck rechazó públicamente las ideas de Mach fue en una conferencia que dictó en 1908 en Leyden, invitado por Lorentz, titulada “The unity of the physical world-picture” [La unidad de la imagen física del mundo] (reproducida en Toulmin, 1970). Contra la afirmación fundamental de Mach de que la ciencia tiene que estar anclada en los elementos psicológicos de nuestras experiencias, Planck dice que “Hasta ahora todo el desarrollo de la física teórica ha estado marcado por una unificación que se logró al emancipar el sistema de sus elementos antropomórficos, en particular de las impresiones sensibles particulares” (Toulmin, 1970, p. 6).

También criticó así la famosa historia de la física de Mach, *The Science of Mechanics* [La ciencia de la mecánica]:

> Cuando los grandes maestros de la ciencia introdujeron sus ideas en la ciencia: cuando Nicolaus Copernicus quitó a la Tierra del centro del universo […] cuando Isaac Newton descubrió las leyes de la gravitación […] cuando Michael Faraday sentó las bases de la electrodinámica […] los puntos de vista “económicos” fueron, sin duda, lo que menos influyó en la batalla que emprendieron estos hombres contra las actitudes tradicionales y las autoridades dominantes. No: fue su fe inquebrantable, ya sea que estuviera asentada en bases artísticas o religiosas, en la existencia de su perspectiva [atómica] del mundo [Toulmin, 1970, p. 26].

Planck terminó su conferencia afirmando que el empirismo machiano era antitético al progreso de la ciencia: “Si el principio machiano de la economía se volviera central para la teoría del conocimiento, se verían impedidos los procesos intelectuales de estas brillantes mentes, se paralizarían los vuelos de la imaginación y se obstaculizaría

fatalmente el progreso de la ciencia” (Toulmin, 1970, p. 26).

Por supuesto, era una provocación, y aunque ya tenía 72 años Mach respondió. Su respuesta, titulada “The guiding principles of my scientific theory of knowledge” [Los principios rectores de mi teoría científica del conocimiento] se publicó en 1910 (reproducida en Toulmin, 1970). En su estilo polémico, Mach dice que Planck y sus defensores van “en camino de fundar una Iglesia […] A esto respondo simplemente: Si para usted es tan importante creer en los átomos, me aparto de las formas de pensar de los físicos. No deseo ser un físico de verdad, renuncio a todo el respecto científico. En suma: rechazo agradecido la comunión con los fieles. Prefiero la libertad de pensamiento” (Toulmin, 1970, p. 37).

Este esbozo de la historia del debate entre las explicaciones realistas y antirrealistas de los mecanismos astronómicos y del atomismo demuestra que para poder discutir el tema es importante hacer algunas distinciones básicas; acercarse al tema armados únicamente con contrastes en blanco y negro no nos permite apreciar las sutilezas de la historia. Este esbozo también ejemplifica uno de los temas centrales de este libro: la cercanía del vínculo entre la ciencia y la filosofía, y la importancia de entender ambos campos para comprender la historia de cualquiera de ellos, y de hecho para comprender adecuadamente las teorías científicas que se discuten o enseñan.

Los argumentos empiristas contra el realismo

Los tres argumentos más poderosos que los empiristas exhortan a usar contra los realistas son, primero, el argumento de la "pereza", luego el argumento del "cementerio" y, finalmente, el argumento de la "subdeterminación". Es posible que Larry Laudan (1984) y Bas van Fraassen (1980) sean quienes hayan efectuado las críticas más completas del realismo, y Van Fraassen ha elaborado la reformulación más sofisticada del empirismo y el instrumentalismo como una filosofía viable de la ciencia. Van Fraassen dice que:

> Ser un empirista es postergar el juicio sobre cualquier cosa que va más allá de los fenómenos de facto, observables, y no reconocer ninguna modalidad objetiva en la naturaleza […] [esto] implica rechazar en forma decidida y absoluta la exigencia de encontrar explicaciones de las regularidades en el funcionamiento observable de la naturaleza mediante verdades que se refieren a una realidad que está más allá de lo que está presente y es observable [Van Fraassen, 1980, p. 202].

El primer argumento, el de la "pereza", fue formulado por Mach y expresado en forma concisa por Carl Hempel (1905-1997) en su famoso artículo "The theoretician's dilema" [El dilema del teórico] (Hempel, 1958/1965). Hempel dice que los empiristas (Braithwaite, Carnap, Feigl y otros) consideraban que todos los términos científicos pertenecen a uno de dos reinos: el observable o el teórico. La función de las teorías era explicar las observaciones en forma deductiva o imponerlas en forma inductiva, de modo que, dado un conjunto de observaciones, pudiera predecirse un segundo conjunto. Los realistas pensaban que estas explicaciones funcionaban porque en el mundo existían conexiones entre las entidades teóricas que postulaban y los acontecimientos visibles. Las entidades teóricas postuladas se comportaban como semileyes (y, por lo tanto, excluían a los ángeles y los espíritus de las categorías de entidades teóricas científicas). Tras citar a los conductistas Hull y Skinner sobre el tema, formula el dilema del teórico como sigue: "Si los términos y los principios de una teoría sirven para su propósito, entonces resultan

innecesarios […] si no sirven para su propósito, está claro que son innecesarios. Pero dada cualquier teoría, sus términos y sus principios o bien sirven para su propósito o no. Así pues, los términos y los principios de cualquier teoría son innecesarios” (Hempel, 1958/ 1965, p. 186).

Los términos teóricos —“fuerza”, “campo”, “calórico”, “inteligencia”, “clase”, “gen”, etc.— ocupan un espacio científico pero no pagan renta. Tras elaborar convenientemente este argumento, Hempel lo critica y lo rechaza, puesto que dice que las bases observacionales, supuestamente sólidas, son “una ficción” (Hempel, 1963, p. 701) y que las teorías, así como las explicaciones deductivas de los fenómenos, deben proporcionar nuevos territorios inductivos para sus afirmaciones, cosa que no puede hacerse usando únicamente términos observacionales (Hempel, 1963, p. 700).

El segundo argumento antirrealista, el del “cementerio”, tradicionalmente ha sido el más convincente. Lo formuló de manera muy nítida Larry Laudan (Laudan, 1984), que señaló que la historia de la ciencia está sembrada de restos de entidades teóricas que alguna vez estuvieron firmemente instaladas en la mejor ciencia de su época: las esferas cristalinas, el calórico, el flogisto, los humores, el éter, etc.; en su momento se asumió que todos estos términos teóricos eran referenciales. Resulta que no lo eran. Laudan añade que no hay razón para pensar que nuestros mejores candidatos actuales para la verdad van a correr con mejor suerte. Éste es su argumento de la “metainducción pesimista” (MIP) contra el realismo (Laudan, 1984).

El tercer argumento, el de la “subdeterminación”, se refiere al hecho de que los términos teóricos siembre están subdeterminados por la evidencia disponible y, por lo tanto, esta evidencia también sustentará otras entidades teóricas actuales o potenciales. Así, la evidencia no sirve como base de ninguna afirmación referencial particular.

Los defensores del realismo

Los realistas se han defendido de los argumentos empiristas que se esbozaron antes; el sentido de sus defensas es fácil de entender y de emplear en las discusiones y el trabajo en clase.[14] El argumento de Hilary Putnam contra los milagros cuenta con un amplio respaldo: “El argumento positivo para el realismo es que es la única filosofía que no convierte en un milagro el éxito científico […] [el realismo] es parte de cualquier descripción adecuada de la ciencia y de sus relaciones con los objetos” (Putnam, 1975, p. 73).

Otros realistas (Psillos, 1999, 2011) han hecho algunas descripciones sobre cómo puede adaptarse a su teoría el argumento de la metainducción pesimista.

En primer lugar, deben hacer más rigurosas las condiciones de descarte para reducir la cantidad de tumbas en el cementerio; no se le permite el entierro a cualquier vieja

teoría descartada, sino sólo a las teorías bien confirmadas cuya confirmación provino de la predicción de hechos nuevos. La idoneidad empírica no se reduce a la concordancia pasiva con hechos o fenómenos —de eso son capaces tanto la astrología como la teología natural—; estar enterrado en la zona científica del cementerio exige que la teoría haya hecho predicciones nuevas, confirmadas, producto de las entidades teóricas que postulaba. Este paso reduce la cantidad de tumbas en las que puede basarse la inducción pesimista.

En segundo lugar, hay que revisar si las teorías enterradas están realmente muertas. Resulta claro que los realistas deben aceptar el cambio teórico, incluso para las teorías más importantes y exitosas, pero siempre queda abierta la pregunta de a qué grado la nueva teoría conserva elementos o entidades de la vieja teoría que remplazó. La bases para la metainducción pesimista se reducen en la misma proporción en que exista una continuidad en el cambio teórico.[15] La teoría de la luz de Fresnel le garantizó una inhumación en el cementerio científico (fue ampliamente adoptada, exitosa e hizo predicciones que se confirmaron), pero si bien yace tres metros bajo tierra, algunas de sus partes sobrevivieron para influir sobre la óptica del siglo XIX, de modo que podríamos desenterrarla para que no ocupe tanto espacio en el cementerio. Laudan tiene un argumento, pero no se trata del argumento vencido y miserable que afirman los antirrealistas que es.

Ian Hacking (1983) ha advertido que si la ciencia se concibe como una simple representación del mundo, los argumentos empiristas son tan fuertes que el realismo no puede tener una respuesta satisfactoria; el realismo tiene que buscar nuevas formas de justificarse. Hacking las encuentra en el éxito de la intervención y la experimentación científica. Sobre la existencia de los electrones, Hacking respalda una observación científica: “En lo que a mí respecta, si puedes rociar algo con ellos, son reales” (Hacking, 1983, p. 23). Hacking ofrece apoyo filosófico para esta intuición práctica, del mismo modo que lo hace Allan Franklin, quien sostiene que el éxito continuo de la práctica experimental confirma el realismo discreto: “Respaldar una postura realista no significa, sin embargo, que crea en la veracidad absoluta de las leyes o en la existencia ‘real’ de las entidades. Sólo quiere decir que creo que tenemos buenas razones para creer en la veracidad de las leyes y en la existencia de las entidades” (Franklin, 1999, p. 160).

Para aclarar lo que se defiende en nombre del realismo, y lo que no se defiende, resulta útil describir algunas de las formas que éste puede adoptar. Leplin (1984, p. 1) ofrece una lista completa de tesis que abarcan el rango de las posturas filosóficas realistas. Señala que todos los realistas respaldan alguna de estas tesis, ligeramente diferentes entre sí:

1) Las mejores teorías científicas actuales son, al menos aproximadamente,

verdaderas.

2) Los términos centrales de las mejores teorías actuales son legítimamente referenciales.
3) La validez aproximada de una teoría científica es una explicación suficientemente buena de su poder predictivo.
4) La validez aproximada de una teoría científica es la única explicación posible de su poder predictivo.
5) Una teoría científica puede ser aproximadamente verdadera incluso si no tiene éxito referencial.
6) La historia de la ciencia, al menos de las ciencias maduras, muestra una aproximación sucesiva a una descripción precisa del mundo físico.
7) Las afirmaciones teóricas de las teorías científicas deben leerse en forma literal, y así leídas son definitivamente verdaderas o falsas.
8) Las teorías científicas hacen afirmaciones legítimas, existenciales.
9) El éxito predictivo de una teoría es evidencia del éxito referencial de sus términos centrales.
10) La ciencia busca hacer una descripción literalmente verdadera del mundo físico, y su éxito debe evaluarse con base en sus progresos para alcanzar esta meta.

Un realismo fuerte puede combinar las tesis 1, 2, 4, 7 y 10. Un realismo más discreto puede combinar, por ejemplo, las tesis 6, 8 y 9. En efecto, el realismo discreto dice que la ciencia busca ofrecer una descripción verdadera del mundo que trascienda y sea independiente de nuestros estados mentales, y que las teorías científicas bien probadas son aproximadamente verdaderas y las entidades que postulan para explicar fenómenos existen realmente: las teorías científicas exitosas "se aferran al mundo".[16]

Howard Stein defiende la importancia de prestarles atención a los pequeños detalles en el debate realismo-antirrealismo:

> Cuando se presentan posturas en el contexto de la historia actual de la ciencia, *a)* cada una de las doctrinas contrarias, si se interpreta de forma excesivamente simplificada, es inadecuada como teoría de la dialéctica del desarrollo científico; *b)* así interpretada cada una ha contribuido en casos importantes a perjudicar la investigación de grandes científicos (Huygens, Kelvin, Poincaré); mientras que *c)* tanto en los postulados teóricos como en la práctica real de […] los filósofos/científicos más sofisticados se presentan conjuntamente aspectos importantes del realismo y del instrumentalismo, de forma tal que se desvanece el supuesto enfrentamiento entre ellos [Stein, 1989, p. 47].

Si se toma en cuenta esta advertencia, bien puede respaldarse el realismo discreto, que sostiene lo que sigue:

- Los términos teóricos de una ciencia buscan hacer referencia a alguna realidad.
- Las teorías científicas tienen algún grado de éxito para hacer referencia a la

realidad.

- Al menos en las ciencias maduras, el progreso científico ocurre gracias a que son progresivamente más verdaderas.
- El mundo natural sobre el que indaga la ciencia es independiente de nuestras mentes y nuestros pensamientos.

CONCLUSIÓN

En este capítulo hemos esbozado el debate entre realistas y antirrealistas sobre el estatus de la teoría científica —sobre si las afirmaciones teóricas acerca de cosas inobservables buscan referirse a entidades reales, existentes, y en qué medida lo hacen— por diversas razones. La primera es que la historia de la reflexión filosófica sobre la naturaleza de la ciencia ha sido tan dominante que debería figurar en las discusiones escolares sobre este tema. La segunda es que los libros de texto escolares suelen decantarse por una u otra perspectiva, pero sin mucha idea sobre los temas históricos o filosóficos involucrados. Los maestros que se familiarizan con el debate son más críticos con los textos y más capaces de abrir el abanico de ideas de los alumnos sobre este tema central. La tercera es que la perspectiva del constructivismo sobre la ciencia y sobre las metas de la investigación científica es decididamente empirista e instrumentalista; en muchos casos, cuando se afirma que las personas sólo pueden conocer sobre sus propias experiencias, incluso es directamente positivista, a pesar de que éste es un término del que abusan con frecuencia los pedagogos. Estos compromisos empiristas se transmiten a las prácticas en el aula, donde con frecuencia se sostiene, y de hecho es casi la postura por default de los pedagogos, que "el constructivismo es la teoría epistemológica más madura" y que el éxito de la enseñanza de la ciencia puede medirse según cuántos alumnos adopten esta postura (Roth y Roychoudhury, 1994, p. 28; Tsai, 1999, p. 1129). No es cierto que el realismo esté desacreditado y abandonado, como suele creerse, y resulta sano que los pedagogos lo reconozcan; esto podría reducir la magnitud del adoctrinamiento constructivista que ocurre tanto en la formación de los maestros como en las aulas.

AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1989), *Project 2061: Science for All Americans,* Washington, D. C., AAAS. También publicado por Oxford University Press, 1990.

Berkeley, G. (1710/1962), *The Principles of Human Knowledge,* ed. por G. J. Warnock, Londres, Collins.

———— (1721/1901), *De motu,* en A. C. Fraser (coord.), *The Works of George Berkeley,* Oxford, Oxford University Press (fragmentos en D. M. Armstrong [ed.], *Berkeley's Philosophical Writings,* Nueva York, 1965). [Hay edición en español: *Acerca del movimiento,* Madrid, Escolar y Mayor, 2009.]

Bodner, G. M. (1986), "Constructivism. A theory of knowledge", *Journal of Chemical Education,* vol. 63, núm. 10, pp. 873-878.

Boyd, R. N. (1984), "The current status of scientific realism", en J. Leplin (coord.), *Scientific Realism,* Berkeley, University of California Press, pp. 41-82.

Buckley, M. J. (1971), *Motion and Motion's God,* Princeton, Princeton University Press.

Chalmers, A. F. (2009), *The Scientist's Atom and the Philosopher's Stone: How Science Succeeded and Philosophy Failed to Gain Knowledge of Atoms,* Dordrecht, Springer.

Churchland, P. M., y C. A. Hooker (coords.) (1985), *Images of Science,* Chicago, University of Chicago Press.

Clagett, M. (1957), *Greek Science in Antiquity,* Londres, Abelard-Schuman.

Cohen, I. B. (2002), "Newton's concepts of force and mass, with notes on the laws of motion", en I. B. Cohen y G. E. Smith (coords.), *The Cambridge Companion to Newton,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 57-84.

Cohen, R. S., R. Hilpinen y Q. Renzong (coords.) (1996), *Realism and Anti-Realism in the Philosophy of Science: Beijing International Conference, 1992,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Copérnico, N. (1543/1952), *On the Revolution of the Heavenly Spheres,* trad. de C. G. Wallis, Chicago, Encylopaedia Britannica. [Hay edición en español: *Sobre las revoluciones (de los orbes celestes),* Madrid, Tecnos, 2009.]

Cordero, A. (2013), "Conversations across meaning variance", *Science & Education,* vol. 22, núm. 6, pp. 1305-1313.

Devitt, M. (1991), *Realism and Truth,* 2ª ed., Oxford, Basil Blackwell.

Drake, S. (1970), *Galileo Studies,* Ann Arbor, University of Michigan Press.

Duhem, P. (1908/1969), *To Save the Phenomena: An Essay on the Idea of Physical Theory from Plato to Galileo,* Chicago, University of Chicago Press.

Finocchiaro, M. A. (1989), *The Galileo Affair: A Documentary History,* Berkeley,

University of California Press.
Galilei, Galileo (1610/1989), *Sidereus nuncius (The Sidereal Messenger),* trad. y ed. de Albert van Helden, Chicago, The University of Chicago Press. [Hay edición en español: Galileo Galileo, Johannes Kepler, *La gaceta sideral. Conversación con el mensajero sideral,* Madrid, Alianza, 2007.]
———— (1623/1957), *The Assayer,* en S. Drake (coord.), *Discoveries and Opinions of Galileo,* Nueva York, Doubleday, pp. 229-280. [Hay edición en español: *El ensayador,* Madrid, Aguilar, 1981.]
———— (1632/1953), *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems,* trad. de S. Drake, Berkeley, University of California Press (2ª ed. revisada, 1967). [Hay edición en español: *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano,* Madrid, Alianza, 2011.]
Hacking, I. (1983), *Representing and Intervening,* Cambridge, Cambridge University Press. [Hay edición en español: *Representar e intervenir,* Barcelona, Paidós, 1996.]
Heath, T. (1913/1981), *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus,* Oxford, Clarendon Press (reimpreso en Dover, 1981).
Heilbron, J. L. (1986), *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science,* Berkeley, University of California Press.
Hempel, C. G. (1958/1965), "The theoretician's dilema", *Minnesota Studies in the Philosophy of Science,* vol. II, reimpreso en *Aspects of Scientific Explanation,* Nueva York, Macmillan, pp. 173-226.
———— (1963), "Implications of Carnap's work for the philosophy of science", en P. A. Schilpp (coord.), *The Philosophy of Rudolph Carnap,* Londres, Open Court Publishers, pp. 685-709.
Herivel, J. (1965), *The Background to Newton's* Principia, Oxford, Clarendon Press.
Hooker, C. A. (1985), "Surface dazzle, ghostly depths: An exposition and critical evaluation of Van Fraassen's vindication of empiricism against realism", en P. M. Churchland y C. A. Hooker (coords.), *Images of Science,* Chicago, University of Chicago Press, pp. 153-196.
———— (1987), *A Realistic Theory of Science,* Albany, State University of New York Press.
Kitcher, P. (2001), "Real realism: The Galilean strategy", *The Philosophical Review,* vol. 110, núm. 2, pp. 151-197.
Koestler, A. (1964), *The Sleepwalkers,* Harmondsworth, Penguin Books. [Hay edición en español: *Los sonámbulos. Origen y desarrollo de la cosmología,* México, Libraria-Conaculta, 2007.]
Laudan, L. (1984), "A confutation of convergent realism", en J. Leplin (coord.),

Scientific Realism, Berkeley, University of California Press, pp. 218-249.

Leplin, J. (coord.) (1984), *Scientific Realism,* Berkeley, University of California Press.

Mach, E. (1872/1911), *The History and Root of the Principle of the Conservation of Energy,* Chicago, Open Court Publishing Company.

Matthews, M. R. (coord.) (1989), *The Scientific Background to Modern Philosophy,* Indianápolis, Hackett Publishing Company.

McMullin, E. (1984), "A case for scientific realism", en J. Leplin (coord.), *Scientific Realism,* Berkeley, University of California Press, pp. 8-40.

Meehl, P., y K. MacCorquodale (1948), "On a distinction between hypotethical constructs and intervening variables", *Psychological Review,* vol. 55, pp. 95-107.

Miller, R. W. (1987), *Fact and Method: Explanation, Confirmation and Reality in the Natural and Social Sciences,* Princeton, Princeton University Press.

Musgrave, A. (1996), "Realism, truth and objectivity", en R. S. Cohen, R. Hilpinen y Q. Renzong (coords.), *Realism and Anti-Realism in the Philosophy of Science,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 19-44.

NRC (National Research Council) (2013), *Next Generation Science Standards,* Washington, D. C., National Academies Press.

Newton, I. (1792/1934), *Mathematical Principles of Mathematical Philosophy,* trad. de A. Motte, revisado por F. Cajori, Berkeley, University of California Press. [Hay edición en español: *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo,* ed. de Antonio Escohotado, Madrid, Editora Nacional, 1982.]

Nola, R. (coord.) (1988), *Relativism and Realism in Science,* Dordrecht, Reidel Academic Publishers.

———— (2003), "'Naked before reality; skinless before the absolute': A critique of the inaccesibility or reality argument in constructivism", *Science & Education,* vol. 12, núm. 2, pp. 131-166.

Oddie, G. (1986), *Likeness to Truth,* Dordrecht, Reidel.

Psillos, S. (1999), *Scientific Realism: How Science Tracks Truth,* Londres, Routledge.

———— (2011), "Is the history of science the wasteland of false theories?", en P. V. Kokkotas, K. S. Malamitsa y A. A. Rizaki (coords.), *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom,* Roterdam, Sense Publishers, pp. 17-36.

Pullman, B. (1998), *The Atom in the History of Human Thought,* Oxford, Oxford University Press. [Hay edición en español: *El átomo en la historia de la humanidad,* Mataró, Intervención Cultural, 2010.]

Putnam, H. (1975), *Mathematics, Matter and Method: Philosophical Papers*

volumen I, Cambridge, Cambridge University Press.
Pyle, A. (1997), *Atomism and Its Critics: From Democritus to Newton,* Bristol, Thoemmes Press.
Roth, M.-W., y A. Roychoudhury (1994), "Physics students' epistemologies and views about knowing and learning", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 31, núm. 1, pp. 5-30.
Sambursky, S. (1956), *The Physical World of the Greeks,* Londres, Routledge y Kegan Paul. [Hay edición en español: *El mundo físico de los griegos,* Madrid, Alianza, 1999.]
Schlagel, R. (9186), *Contextual Realism: A Meta-Physical Framework for Modern Science,* Nueva York, Paragon.
Siegfried, R. (2002), *From Elements to Atoms: A History of Chemical Composition,* Filadelfia, American Philosophical Society.
Snyder, L. J. (2005), "Confirmation for a modest realism", *Philosophy of Science,* vol. 72, pp. 839-849.
Stein, H. (1989), "Yes, but… Some skeptical remarks on realism and anti-realism", *Dialectica,* vol. 43, núms. 1-2, pp. 47-65.
Tolomeo, C. (1952), *The Almagest,* Chicago, University of Chicago Press (Great Books de la Enciclopedia Britannica, vol. 16, trad. de Catesby Taliaferro).
Toulmin, S. E. (coord.) (1970), *Physical Reality: Philosophical Essays on Twentieth-Century Physics,* Nueva York, Harper & Row.
Tsai, C.-C. (1999), "The progression toward constructivist epistemological views of science: A case study of the STS instruction of Taiwanese high school female students", *International Journal of Science Education,* vol. 21, núm. 11, pp. 1201-1222.
Van Franssen, B. C. (1980), *The Scientific Image,* Oxford, Clarendon Press. [Hay edición en español: *La imagen científica,* Barcelona, Paidós, 1996.]
Van Helden, A. (1985), *The Invention of the Telescope,* Chicago, University of Chicago Press.
Van Melsen, A. G. (1952), *From Atomos to Atom,* Pittsburgh, Duquesne University Press.
Westfall, R. S. (1980), *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton,* Cambridge, Cambridge University Press.

X. CIENCIA, VISIONES DEL MUNDO Y EDUCACIÓN[1]

La ciencia, antes conocida como "filosofía natural", siempre ha sido una parte dinámica de la cultura; es afectada por la cultura y ejerce efectos sobre ella. Así, la ciencia y las visiones del mundo (o *Weltanschauungen*) están interrelacionadas, y cualquier enseñanza de la ciencia decente debería llevar a que los alumnos apreciaran estas relaciones mutuas.[2]

El agrónomo Hugh Gauch escribió el ensayo principal de un número monográfico de S*cience & Education* (2009) dedicado a *Ciencia, visiones del mundo y educación* (Matthews, 2009b), donde aseveró que la relación entre la ciencia y las visiones del mundo, tanto las teístas como las ateas, subyacen en algunos de los problemas contemporáneos más importantes para los científicos, los maestros de ciencia y la cultura en general (Gauch, 2009). Muchas personas están enormemente interesadas en temas como si Dios existe, si el mundo tiene un propósito, si hay entes espirituales que ejercen una influencia causal sobre el mundo, si los humanos tienen almas espirituales que los distinguen del resto del mundo animal, si el mundo es tal que los rezos pueden ser respondidos y si es posible interrumpir los procesos causales naturales, etc. Sin duda es importante que los alumnos y los maestros sepan si la ciencia puede ofrecer respuestas a estas preguntas en una dirección o en otra, o si debe permanecer muda ante interrogantes de esta índole. El estudio de la naturaleza de la ciencia debería poder arrojar luz sobre esta cuestión: ¿puede la ciencia responder estas preguntas? Gauch recoge opiniones de científicos, filósofos y pedagogos y, como era de esperarse, encuentra dentro de cada grupo desacuerdos sobre cuáles son los alcances legítimos de la ciencia.

Es importante notar que Gauch reporta cuidadosamente lo que dicen los artículos de posicionamiento de la American Association for the Advancement of Science (AAAS) y del National Research Council de Estados Unidos (NRC) sobre las características definitorias de la ciencia y, en consecuencia, lo que dicen sobre las visiones científicas del mundo. Identifica siete "pilares" de la actividades científicas sustentados por la AAAS y la NRC, y que son:

- Pilar P1: *Realismo.* El mundo físico, que la ciencia busca entender, es real.
- Pilar P2: *Presuposiciones.* La ciencia presupone que el mundo es ordenado y comprensible.
- Pilar P3: *Evidencia.* La ciencia exige evidencia para sustentar sus conclusiones.
- Pilar P4: *Lógica.* El pensamiento científico usa una lógica estándar y establecida.
- Pilar P5: *Límites.* La ciencia tiene límites en su comprensión del mundo.
- Pilar P6: *Universalidad.* La ciencia es pública y admite personas de todas las

culturas.
- Pilar P7: *Visión del mundo.* Con suerte, la ciencia contribuye a construir una visión significativa del mundo.

Gauch considera que estos siete pilares fundamentan, en parte, la idea popular de que la investigación de lo sobrenatural se encuentra fuera del dominio de la ciencia; se trata de la generalizada postura NOMA (*non-overlapping magisteria*, ámbitos que no se superponen) propuesta por el difunto Stephen J. Gould (Gould, 1999). Sin embargo, Gauch también identifica incongruencias con la postura de la American Association for the Advancement of Science, porque al mismo tiempo ésta asegura que "vivimos en un universo direccional, si bien no teleológico". Para Gauch, esto equivale a rechazar la visión fundamental del mundo de las tradiciones judaicas, cristianas e islámicas para las cuales el mundo no carece de sentido ni de guía última, y por lo tanto es una declaración de que, en contradicción con NOMA, la ciencia no es independiente de la visión del mundo. Gauch propone y defiende una tesis relacionada: "La ciencia es independiente de la visión del mundo en lo que respecta a sus supuestos y a sus métodos, pero la evidencia científica, o la evidencia empírica en general, puede influir sobre esta visión. Las consideraciones metodológicas revelan esta posibilidad y la revisión histórica demuestra su vigencia" (Gauch, 2009, p. 679).

Para los maestros de ciencia y para los diseñadores de planes de estudio, se presentan estas preguntas fundamentales, de las que se han ocupado tanto pedagogos como historiadores y filósofos de la ciencia:

- ¿Qué constituye una visión del mundo?
- ¿De qué modo las visiones del mundo influyen sobre los compromisos ontológicos, epistemológicos, éticos y religiosos, y cómo son influidas a su vez por ellos?
- ¿Qué compromisos con una visión del mundo presupone la práctica de la ciencia?
- ¿Qué similitudes existen entre aprender sobre la naturaleza de la ciencia y aprender sobre las visiones del mundo asociadas con la ciencia?
- ¿Cuál es el ámbito legítimo del método científico? ¿Debería emplearse para los temas históricos, en particular los que tienen que ver con las escrituras y los textos sagrados?
- ¿En qué medida aprender sobre la visión científica del mundo debería formar parte de la enseñanza de la ciencia?
- ¿La enseñanza de la ciencia debería presentarles a los alumnos distintas visiones del mundo o dejarlos intactos? ¿Los alumnos deberían poder "cruzar fronteras", ser capaces de pasar de su propia cultura, con sus visiones particulares del mundo, al aula de ciencia para "adoptar" conocimientos instrumentales o técnicos y luego regresar a su cultura "nativa" sin ser afectados por las visiones

del mundo y las perspectivas de la ciencia?
- ¿Cómo juzgamos los programas de enseñanza de la ciencia en los que no se afirma o internaliza la visión del mundo de la ciencia y sólo se aprende con propósitos instrumentales o de evaluación; en los que aprender ciencia es equivalente a un estudio antropológico en el que no se espera que los alumnos crean o adopten lo que aprenden, sino que únicamente sean capaces de manipular fórmulas y dar respuestas correctas en los exámenes?

Como ocurre con todos los temas que se han tratado en este libro, las respuestas a estas preguntas no se obtienen mediante las teorías del aprendizaje, las habilidades de manejo de clase o la mayor parte de los contenidos tradicionales de los programa de formación de maestros, sino que requieren habilidades históricas y filosóficas.

En 2009 se celebró el aniversario 150 de la publicación de *El origen de las especies* de Darwin, un acontecimiento que provocó una avalancha de artículos en revistas de divulgación, simposios académicos, artículos de periódico, exposiciones en museos, libros y documentales de televisión que generaron un amplio reconocimiento de la interrelación entre la ciencia, la cultura y las visiones del mundo. El público general pudo comprobar algo que los académicos han sabido por mucho tiempo: que *El origen* no sólo ofreció un relato totalmente nuevo sobre el origen de las especies por selección natural, sino que también dio inicio a una transformación de las visiones modernas del mundo y una nueva comprensión del lugar que ocupamos los humanos en el mundo natural.[3] En la mayor parte de las visiones modernas del mundo, con excepción de las de los fundamentalistas cristianos, los musulmanes y muchas culturas indígenas,[4] se han afianzado distintas versiones del naturalismo evolutivo de Darwin, respaldado y fortalecido por la genética moderna.[5]

Un poco antes, en 2005, durante la celebración del centenario del *annus mirabilis* de Einstein, el público también pudo ver y apreciar la forma en que la ciencia contribuye con la visión del mundo. La gente sabía, tal vez en forma menos clara y dramática que en el caso de Darwin, que en 1905, tras la publicación de los tres artículos de Einstein, algo importante estaba comenzando a suceder. Empezaba a apreciarse lo que escribió el físico y filósofo Fritz Roblich:

> El desarrollo de la mecánica cuántica condujo a la mayor revolución conceptual de nuestro siglo y probablemente la más importante que ha experimentado la humanidad. Es posible que supere las grandes revoluciones en el pensamiento que provocó la revolución copernicana, la revolución darwiniana y la teoría especial y general de la relatividad. La mecánica cuántica nos obligó a reconsiderar nuestras convicciones más arraigadas sobre el concepto de realidad en la naturaleza [Rohrlich, 1987, p. 136].

El mundo antiguo

Si bien Darwin y Einstein son los casos más recientes y célebres de avances científicos que tienen impacto sobre la filosofía y la cultura, estas influencias se remontan a la cuna misma de la filosofía natural occidental; ha habido una interacción continua entre la ciencia, la filosofía, la metafísica y, en última instancia, las visiones del mundo. La "ciencia" (la filosofía natural) de los materialistas y atomistas clásicos y helénicos —Tales, Anaximandro, Leucipo, Demócrito, Epicuro, Anaxágoras y otros— se encontraba en combate permanente con las visiones del mundo dualistas, finalistas y teleológicas de los platonistas y los aristotélicos. Karl Popper (Popper, 1963, cap. 5) llamó la atención hacia esta "lucha" entre los primeros naturalistas y los presocráticos de tradición

científica materialista y sus oponentes filósofos, dualistas y teleológicos, en particular Platón y Aristóteles. Estos últimos ganaron, y quienes conformaron el primer grupo fueron tachados, durante 2 000 años, de presocráticos, de "calistenia" filosófica o de blancos de la principal aventura ateniense. Sin embargo, en cierta medida su reputación se ha recuperado. Un representativo historiador de la filosofía griega dice, sobre Leucipo y Demócrito: "En su atomismo, su teoría del movimiento, su distinción entre cualidades primarias y secundarias, y sobre todo en su insistencia en que la explicación de los procesos naturales debe ser de naturaleza mecánica, los atomistas anticiparon en mucho la visión del mundo de la ciencia moderna" (Allen, 1966, p. 15).

La explicación que dio Anaximandro del trueno, como un ruido creado no por dioses o espíritus celestes sino por la fricción de partículas de viento, representa atinadamente la división entre los sistemas de explicaciones materialistas o naturalistas y los sistemas "precientíficos".[6] Sin embargo, debe recordarse que era difícil conciliar el programa materialista de Leucipo, Demócrito, Epicuro y otros antiguos atomistas con la observación cotidiana de la vida animal y la experiencia humana, en las cuales la intención, el propósito y la teleología parecen dominar. Por más que el programa materialista antiguo (y moderno) tenga aciertos, no parece aplicarse fácilmente a la vida animal y humana; los sistemas y las categorías de Aristóteles parecían mucho más apropiados y satisfactorios. Como observó un genetista contemporáneo:

> El desmantelamiento del aristotelismo como sistema científico comenzó en el Renacimiento, y tuvo éxito en las disciplinas científicas. En las ciencias biológicas, sin embargo, el aristotelismo sobrevivió hasta la revolución darwiniana, que sigue avanzando en nuestros días […] De hecho, la visión aristotélica del mundo aún tiene muchos adeptos entre los biólogos modernos [Montalenti, 1974, p. 4].

Para Popper, y para muchos otros, la revolución científica era un "regreso al pasado", una recuperación de la ontología materialista y las relaciones causales mecánicas y no teleológicas (Vitzhum, 1995, cap. 2). Wallis Suchting describió así estas batallas en la cuna de la ciencia y la filosofía occidentales:

> A pesar de todas las diferencias entre Platón y Aristóteles, este último prosiguió el trabajo del primero de maneras fundamentales, como la de ofrecer unas "bases" metafísicas para las ciencias y una perspectiva teleológica del mundo. El cristianismo recuperó elementos del pensamiento platónico […] pero su culminación filosófica, el tomismo, se apropió sobre todo de Aristóteles. El atomismo mantuvo una existencia básicamente marginal […] hasta que lo recuperó Galileo [Suchting, 1994, p. 45].

El atomismo y la revolución científica

La revolución científica del siglo XVII tuvo lugar en una Europa cuya vida cultural, académica y religiosa estuvo permeada por la filosofía aristotélica: sus convicciones sobre

la ontología, la epistemología, la ética y la teología estaban influidas y eran juzgadas a través de los textos de Aristóteles.[7] Aunque el escolasticismo neoaristotélico no era monolítico en su interpretación de Aristóteles,[8] dominó las universidades medievales y renacentistas.[9] La filosofía escolástica estaba íntimamente vinculada con la Iglesia católica, pero también fue dominante en los seminarios y las universidades protestantes (Dillenberger, 1961, cap. 2). Como observó un estudioso: "La Edad Media significa, sencillamente, el reinado absoluto de la religión cristiana y de la Iglesia. La filosofía escolástica no podía ser más que el producto del pensamiento al servicio del credo reinante, y bajo la supervisión de la autoridad eclesiástica" (De Wulf, 1903/1956, p. 53).

Para la ontología escolástica, las cosas estaban hechas de forma y materia; se trataba de la doctrina o principio del hilemorfismo, fundamental para la tradición aristotélica. Frederick Copleston ha notado, atinadamente, que santo Tomás de Aquino, el más importante de los escolásticos, "continuó el análisis aristotélico de la sustancia" (Copleston, 1955, p. 83) y que:

> Según santo Tomás de Aquino, entonces, todas las cosas o sustancias materiales están compuestas por una forma sustancial y una materia primera. Ningún principio es en sí mismo una cosa o una sustancia; los dos reunidos son los principios que componen una sustancia. Sólo podemos decir que existe propiamente la sustancia. "No se puede decir que la materia sea; es la sustancia misma lo que existe" [Copleston, 1955, p. 90].

La "nueva ciencia" fue la que eventualmente llevó a desmontar esta arraigada visión filosófico-teológica medieval del mundo. Comenzó con la publicación, en 1543, de la obra astronómica *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* (Copérnico, 1543/1952).[10] Sin embargo, no fue sino hasta un siglo después cuando este derrumbe adoptó una forma dramática con la publicación, en 1632, de los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* de Galileo (1632/1953) y, 50 años después, de los *Principia mathematica* de Newton (Newton, 1713/1934). Estos dos libros, separados por escasos 50 años, encarnan el núcleo intelectual de la revolución científica; constituyen el paradigma galileano-newtoniano (GNP), un paradigma mucho más influyente de lo que ha sido cualquier paradigma económico en la historia.[*]

La nueva ciencia estableció la descripción copernicana, heliocéntrica, del sistema solar, que quitó a los humanos de su sitio religiosa y culturalmente privilegiado en el centro del universo; introdujo una descripción de los procesos naturales mecánica y basada en leyes; desafió y, en muchos aspectos, derrocó el sistema filosófico aristotélico que había dominado por tanto tiempo y que, entre otras cosas, estaba íntimamente vinculado con la teología y la ética católicas romanas. Como es bien sabido, el paradigma galileano-newtoniano concitó una revaloración del papel de la autoridad religiosa en la determinación de las afirmaciones de los mundos natural y social.[11]

La nueva ciencia (la filosofía natural) de Galileo, Descartes, Huygens, Boyle y Newton provocó un cambio masivo, no sólo en la ciencia sino también en la filosofía europea, que tuvo repercusiones prolongadas en la religión, la ética, la política y la cultura. Como se esbozó en el capítulo II, los primeros filósofos modernos —Francis Bacon, Thomas Hobbes, John Locke, David Hume, George Berkeley, René Descartes, Gottfried Leibniz, hasta llegar a Immanuel Kant— estaban involucrados con los avances de la temprana ciencia moderna, y también reaccionaban a ella,[12] del mismo modo que lo harían posteriormente los filósofos de la Ilustración francesa, inglesa, alemana y escocesa; la ciencia del siglo XVII fue la semilla que rindió frutos en la filosofía y la visión del mundo del siglo XVIII. Con las inevitables excepciones y reservas que deben hacerse al hablar de cualquier transformación de gran escala o revolución en el pensamiento, puede decirse que los filósofos naturales más importantes de la época rechazaron el aristotelismo en su práctica científica, su trabajo teórico y sus exposiciones filosóficas. La nueva filosofía por la que optaron fue, en forma casi unánime, la mecánica corpuscular y realista que con justicia se ha llamado la “visión mecánica del mundo” (Dijksterhuis, 1961/1986; Westfall, 1971).

En esta nueva visión del mundo no había lugar para las entidades que el aristotelismo usaba para explicar los acontecimientos del mundo: el hilemorfismo, las sustancias inmateriales, el despliegue de naturalezas y potencialidades, las formas sustanciales, los procesos teleológicos y las causas finales fueron expulsadas del firmamento filosófico. Pueden decirse muchas cosas sobre el atomismo y la nueva ciencia, pero para nuestros propósitos es suficiente repetir la observación de Craig Dilworth:

> La metafísica que subyacía a la revolución científica era la del atomismo griego temprano […] Es con el atomismo que uno adquiere la noción de una realidad física que subyace a los fenómenos, una realidad en la cual prevalecen las relaciones causales uniformes […] Lo que realmente distinguió la revolución científica, y a Galileo […] su padre, fue que por primera vez se le otorgaron bases ontológicas a esta metodología empírica [la de Arquímedes] [Dilworth, 1996/2006, p. 201].

El apogeo y la decadencia de la filosofía atomista proporcionan un ejemplo del entrelazamiento entre la ciencia, la filosofía y la cultura, un conjunto de vínculos sobre los cuales pueden aprender los alumnos de humanidades y apreciar los alumnos de ciencia. Muchos de los actores principales de la nueva ciencia del siglo XVII —Galileo, Descartes, Boyle, Newton— eran cristianos creyentes, si bien mantenían relaciones algo tensas con sus iglesias respectivas (la católica romana para los dos primeros, la anglicana para los dos últimos). Algunos creyentes rechazaron la nueva ciencia; otros la aceptaban pero no toleraban su metafísica asociada, y unos más, como Joseph Priestley, adoptaron tanto la nueva ciencia como su metafísica atomista y ajustaron su ontología religiosa para admitirlas. Cuando los filósofos naturales del siglo XVII y los filósofos de la Ilustración del XVIII destacaron el materialismo, el mecanicismo y el determinismo de la nueva ciencia, se convirtieron en el blanco de la cólera de la mayor parte de las figuras religiosas contemporáneas, que consideraban que la nueva visión del mundo era anticristiana y atea.[13] El historiador Richard Westfall resume bien la situación prevalente:

> La ciencia natural estaba basada en el concepto de orden natural, y la línea que separaba los conceptos de orden natural y determinismo material no era inviolable. La idea mecánica de la naturaleza, que acompañó el ascenso de la ciencia moderna en el siglo XVII, contradecía la reivindicación de los milagros y cuestionaba la existencia de la divina providencia. Además, la ciencia contenía sus propios criterios de verdad, que no sólo repudiaban la primacía de los filósofos de la Antigüedad sino que implicaban dudas sobre la autoridad de la Biblia y contemplaban con sospechas la actitud devota que exigía la religión cristiana. [Y continúa:] Todos los problemas pueden resolverse de diversas formas para reconciliar la ciencia con la religión. Pero el hecho mismo de reconciliarse implicaba un alejamiento del patrón de la cristiandad tradicional [Westfall, 1973, pp. 2-3].

Estas "grandes reconciliaciones históricas" entre la ciencia y la religión se repiten, a nivel personal, para muchos alumnos de ciencia; el análisis y el conocimiento de las reconciliaciones históricas no hacen más que reportarles beneficios a ellos y a sus maestros.[14]

Aunque en 1615 se le advirtió a Galileo que no sostuviera o enseñara la doctrina copernicana de una Tierra móvil, no enfrentó acusaciones teológicas sino hasta después de publicar *El ensayador,* que defendía públicamente el atomismo (Redondi, 1988). Sus oponentes pasaron de un descontento generalizado a un repudio concreto.

El atomismo le presentaba a las creencias cristianas algunos problemas particulares y muy serios, pero el más básico e importante era el que tenía que ver con la enseñanza de las iglesias católica romana, griega ortodoxa y unitaria oriental sobre la presencia de Cristo en la eucaristía, es decir, la doctrina de la transubstanciación. La eucaristía era el corazón sacramental de la misa católica, y la misa era el corazón religioso de la Iglesia. Creer en la presencia real de Cristo, invocada por el sacerdote al consagrar la hostia de la

comunión, ha sido la base de las prácticas religiosas y la autoridad doctrinal durante siglos. En épocas pasadas, negar la presencia real era un crimen capital, la prueba de fuego que usaba la Inquisición para probar la fe del acusado y que, si no se pasaba, lo condenaba a una muerte horrible y dolorosa.

La filosofía escolástica, con sus categorías aristotélicas de sustancia, accidentes y cualidades, podía otorgarle una pizca de inteligibilidad a este misterio central de la fe, y también a doctrinas como la de la encarnación, la trinidad y la inmortalidad del alma. El escolasticismo sostenía que durante la consagración la sustancia del pan se convertía en la sustancia del cuerpo de Cristo, pero los accidentes seguían siendo aquellos del pan. Así que Cristo de verdad se hacía presente, aunque no fuera evidente ningún cambio sensible, observable.

Santo Tomás de Aquino (1225-1274), en su prodigiosa *Suma teológica* (tercera parte, "Tratado de los sacramentos", cuestión 75, artículo 4), formuló la doctrina ortodoxa como sigue:

> Puesto que, como se ha dicho ya en este sacramento está realmente el cuerpo de Cristo, y no comienza a estar en él por movimiento local, ya que el cuerpo de Cristo tampoco está allí localizado, como se deduce de lo dicho […] es necesario decir que comienza a estar en el sacramento por conversión de la sustancia del pan en él […] Y esto es lo que sucede por el poder divino en este sacramento. Porque toda la sustancia del pan se convierte en toda la sustancia del cuerpo de Cristo, y toda la sustancia del vino, en toda la sustancia de la sangre de Cristo. Por donde se ve que esta conversión no es formal, sino sustancial, y no está contenida entre las conversiones que siguen el curso de la naturaleza, por lo que puede decirse que su nombre propio es el de *transubstanciación* [Aquino, 1270/1920] <http://hjg.com.ar/sumat/d/c75.html>.

En el Concilio de Trento de 1551 se ratificó que esta formulación tomista, de la mano del aparato filosófico aristotélico que se requiere para su interpretación, era parte definitoria de la ortodoxia católica.

John Hedley Brooke, una historiador que sentía simpatía por las contribuciones positivas que hacía la religión a la ciencia, reconoció el riesgo que conllevaba el atomismo, "en particular para la Iglesia católica romana, que adoptó una perspectiva característica de la presencia de Cristo en la celebración de la eucaristía" (Brooke, 1991, p. 141). Escribe:

> Con una teoría aristotélica de la materia y de la forma, era posible entender cómo el pan y el vino podían conservar las propiedades sensibles al tiempo que su sustancia se transformaba milagrosamente en el cuerpo y la sangre de Cristo […] Pero si las propiedades sensibles dependían, como argumentaban los filósofos mecánicos, de una configuración oculta de partículas, cualquier alteración a esa estructura interna tendría efectos discernibles. Si ocurriera un cambio real, el pan y el vino ya no parecerían pan y vino [Brooke, 1991, p. 142].

Los atomistas sostenían, con base en razones *filosóficas,* que todas las explicaciones legítimas tenían que hacerse, en última instancia, en términos de las propiedades de los

átomos y de sus movimientos e interacciones. Su ciencia tenía como límite su filosofía. Es evidente que la incorporación de fuerzas y campos a la ontología de la ciencia del siglo XIX no se hizo con bases filosóficas sino científicas; se pensaba que sólo recurriendo a estas entidades podían elaborarse explicaciones y avances científicos consistentes. En el capítulo IX se discutió la historia posterior del atomismo.

La historia de la filosofía ha sido un largo diálogo con la historia de la ciencia; ambas crecen y aprenden de la otra, como lo reconoció Einstein: "La recíproca relación existente entre epistemología y ciencia es de un género notable. Ellas son dependientes la una de la otra. La epistemología sin contacto con la ciencia llega a ser un esquema vacío. La ciencia sin epistemología es —hasta donde ello es pensable de algún modo— primitiva y confusa" (Einstein, 1949, p. 683).

Sin embargo, desde el principio ha venido participando en el diálogo un tercer compañero, por lo general, la religión o la política. Un tema constante ha sido el derecho de este tercer compañero a inmiscuirse, corregir y dirigir el diálogo principal. El debate contemporáneo en Estados Unidos y en los países islámicos sobre el estado de la evolución, lo que la ciencia dice o no sobre los orígenes del hombre, el alma, la autoridad de las revelaciones y otros temas por el estilo demuestran con elocuencia la entrada de un tercer actor en el diálogo entre ciencia y filosofía. Lo mismo ha ocurrido, por supuesto, con la incursión del Estado soviético en la formulación de una filosofía consistente con la genética de Lysenko y con el confinamiento de la ciencia china a la camisa de fuerza dialéctica del Partido Comunista Chino (Guo, 2014).

La tradición católica romana

> La Iglesia católica romana ha adoptado como guía la noción medieval de que "la filosofía es la sirvienta" de la teología; la filosofía debía estar subordinada a los propósitos religiosos y teológicos. Ésta es la razón por la cual los decretos tridentinos del siglo XVI y las decisiones de la curia fueron tan relevantes hasta el siglo XX. El papa León XIII (1810-1903) promulgó su encíclica *Aeternis patris,* que le dio al tomismo el nombre *philosophia perennis* (filosofía perenne) e instruyó a las instituciones educativas católicas para que basaran sobre él sus enseñanzas filosóficas y teológicas. En 1914, Pío X (1835-1914) emitió su decreto *Doctoris angelici,* en el que afirma que: "Deseábamos que todos los maestros de filosofía y de sagrada teología estuvieran advertidos de que si se desviaban aunque fuera un ápice de Aquino, en particular en lo tocante a la metafísica, se exponían a un grave peligro" (Weisheipl, 1968, p. 180). No fue sino hasta los últimos años del siglo XX, con la encíclica *Fides et ratio* del papa Juan Pablo II, que la Iglesia católica relajó su apego al tomismo como la filosofía oficial de la Iglesia.[15]

La tradición tomista tuvo un enorme impacto cultural y personal en la Europa católica (en particular en Irlanda, Portugal, Polonia, España e Italia), en América Latina, Filipinas y otros países. Durante siglos, el tomismo fue aprovechado para fundamentar las enseñanzas de la Iglesia en un amplio espectro de temas sexuales, incluida la anticoncepción, la masturbación, el bestialismo y la homosexualidad. Allí donde la Iglesia ejercía su poder e influencia políticos, estas enseñanzas se transfirieron a las leyes nacionales; los actos supuestamente inmorales se convirtieron en actos ilegales y

sancionables por parte del Estado, y esto no sólo para los católicos romanos sino para todos los ciudadanos. En todos esos casos, la razón de la condena era que dicha actividad era "antinatural", una noción que se desprende de la idea aristotélica de que los objetos y las acciones tienen naturalezas propias que, si pueden actuar por su cuenta, se desarrollan en forma "natural", y que lo hacen en forma "violenta" o "antinatural" si se interfiere con ellas.[16] La ciencia desempeñó un papel en el fin del poder y del alcance del tomismo y, en consecuencia, de la estructura moral y legal que se había edificado sobre él. Se trata de un ejemplo claro del impacto de la ciencia sobre la filosofía y la cultura, y del efecto nocivo de la intromisión de un tercero en el diálogo entre la filosofía y la ciencia.[17]

La tradición islámica

En el mundo islámico ha ocurrido la misma dinámica: la idea medieval de la filosofía como la sirvienta del Corán aún sigue en pie.[18] Para un musulmán es muy difícil, si no es que imposible, considerar o comprometerse con cualquier sistema filosófico que no pueda reconciliarse con la ontología, la epistemología, la política y la ética que ha asumido el Corán. El proyecto de la "islamización del conocimiento" se acepta ampliamente como una parte más del islam y se considera consustancial a ser musulmán. Su propósito es contrarrestar las bases humanistas y seculares de la educación y cultura occidentales, que el islam considera que está basada en cinco principios centrales:

1) Considera que el hombre es el soberano, el ser supremo (humanismo);
2) basa todo el conocimiento en el razonamiento y la experiencia humanos (empirismo);
3) permite una libertad irrestricta de pensamiento y expresión (libertarismo);
4) no está dispuesta a aceptar las verdades "espirituales" (naturalismo);
5) es individualista, relativista y materialista.

Seyyed Nasr hace una afirmación muy característica de la valoración islámica de la revolución científica cuando sostiene que Galileo y Newton produjeron consecuencias trágicas para el Occidente, porque señaló "La primera ocasión en la historia humana en la que una colectividad humana remplazó por completo su comprensión religiosa del orden de la naturaleza por una que no sólo no era religiosa sino que también desafiaba algunos de los supuestos más básicos de la perspectiva religiosa" (Nasr, 1996, p. 130).

Nasr repite las críticas religiosas y románticas que se hicieron en Occidente a la nueva ciencia cuando escribe: "En adelante, en la medida en la que sólo se consideraba real el

aspecto cuantitativo de la naturaleza, y la nueva ciencia se consideraba la única ciencia de la naturaleza, el significado religioso del orden natural se volvió irrelevante, en el mejor de los casos una respuesta emocional y poética a la 'materia en movimiento'" (*ibid.*, p. 143).

Esta y otras consideraciones han llevado a que existan llamados por una "ciencia islámica" (Hoodbhoy, 1991), un programa que ha recibido apoyo estatal en Paquistán y otros países islámicos. Para esta ciencia, la metafísica está más allá y por encima de la ciencia; la metafísica externa, basada en el Corán, es el juez de la ciencia y determina cuáles son la ontología y la epistemología de la ciencia aceptables y, por supuesto, determina el contenido y el *ethos* de la ciencia escolar.

Otras tradiciones

La intervención de terceros es particularmente tensa cuando ese tercero tiene vínculos con el poder político e institucional, como ha sucedido con el tomismo y la Iglesia católica romana, el islam y los estados musulmanes, el marxismo y la Unión Soviética, y supuestamente China,[19] el hinduismo en diferentes estados indios en distintas épocas del gobierno nacional[20] y el nacionalsocialismo en la Alemania de Hitler.[21] Lo mismo ocurre cuando los guardianes de los sistemas tradicionales de creencias controlan lo que puede pensarse y enseñarse en las culturas indígenas tradicionales. En estas culturas, sencillamente no puede practicarse el libre intercambio y el diálogo entre la filosofía y la ciencia, algunos temas están vedados, se exigen ciertas metodologías y se proscriben otras.[22]

Respuestas educativas

En todos los casos mencionados se hizo que la ciencia y la filosofía local se supeditaran a las visiones del mundo dominantes, institucionalizadas o políticas, y los organismos educativos se vieron obligados a aceptar estas "órdenes superiores" que respondían a los intereses de la nación, la religión, la cultura o el desarrollo económico. El "Juicio de los monos" de John Scopes, que tuvo lugar en Tennessee en 1925, es tal vez el caso mejor conocido de esta intromisión de metafísicas externas en la enseñanza de la ciencia (Larson, 1997). En Estados Unidos, el juicio de Scopes se ha reproducido en intervalos regulares; el juicio de Little Rock, Arkansas, en 1981 y el de Dover, Pensilvania, en 2006, son dos casos recientes y muy difundidos. Aquí destacan por tratarse de interferencias, pero estas intervenciones o controles están institucionalizados en muchos

países, en particular los islámicos. La evolución y otros temas que la religión no ve con buenos ojos no sólo están ausentes de los planes de estudio: está prohibido enseñarlos. No hay una intromisión evidente o dramática del exterior; así son las cosas.

Esta circunstancia política y cultural plantea preguntas importantes para el maestro de ciencia: ¿debería tratar de enseñar lo mejor de la ciencia actual y fomentar en sus alumnos independencia de criterio o limitarse a ser funcionario del poder ideológico dominante en turno? ¿Es verdad que la educación puede construirse desde dentro, o siempre debe adoptar la forma del último pie ideológico o político que deje allí su huella? Se trata de asuntos que requieren una filosofía de la educación profunda y reflexiva, algo que por desgracia está casi por completo ausente de la formación contemporánea de maestros de ciencia. Y no es sólo la filosofía de la educación la que se ha eliminado progresivamente para ser remplazada con una capacitación en técnicas pedagógicas y manejo de clase; los temas más fundamentales han corrido la misma suerte. El modelo del "aprendiz" en la enseñanza de la ciencia no deja muchos resquicios para "reflexionar sobre los principios" o para comprender la historia y la filosofía de la disciplina que se busca enseñar.[23]

Las principales religiones del planeta tienen una relación constante con la ciencia y se preguntan de qué modos sus propios compromisos ontológicos, epistemológicos y éticos —sus visiones del mundo— pueden reconciliarse tanto con los hallazgos científicos como con las visiones científicas del mundo. A veces, esta relación ha sido mutuamente productiva; otras ha resultado destructiva para uno u otro de los participantes. La religión es el elemento de la interacción entre la ciencia y las visiones del mundo que se ha discutido y debatido más públicamente, y la que con más frecuencia preocupa a los políticos y a los pedagogos, desde la concepción de las constituciones nacionales y las resoluciones de la suprema corte, el diseño de planes de estudio nacionales y locales, las discusiones sobre la ciencia multicultural e indígena y la selección de libros de texto hasta la enseñanza en las aulas y las interacciones entre maestros y alumnos. Los argumentos y ajustes que han ocurrido entre la cristiandad y la ciencia —sobre la creación, la evolución, la Providencia, los milagros, la revelación— se han debatido durante mucho tiempo,[24] y serán el tema central de este capítulo. Los debates sobre la enseñanza de la evolución ya son legendarios, y casi todos los días aparecen en los encabezados de algún periódico del mundo. Esta sección se ocupará de uno de los muchos temas y discusiones que han surgido en este campo: la supuesta existencia de entidades espirituales dotadas de poderes, como espíritus, fantasmas, *poltergeists* y ángeles, habitantes de lo que John Wesley, el fundador del metodismo, llamó el "mundo invisible".

Las religiones abrahámicas

Para las tradiciones judía, cristiana e islámica, es fundamental la idea de un mundo poblado por espíritus. La sociedad judía no hizo más que adoptar el densamente poblado mundo de demonios que también reconocían las culturas mesopotámicas y helénicas, con su ontología de seres intermedios entre dioses y hombres: los *daimones*. La explicación que le dio la tradición judeocristiana a este reino de agitadores y tentadores fue, por supuesto, la expulsión de Satán y de sus ángeles caídos del cielo (Génesis 6: 1-4). Los cielos estaban abarrotados: en la visión del profeta Daniel: "Miles de millares le servían, y miriadas de miriadas estaban de pie delante de Él" (Daniel 7: 10). Los *jinn,* o espíritus y ángeles, eran parte integral de la tradición judaica; todos en la Arabia preislámica creían en ellos. Vivían en un mundo invisible para los humanos; comían y bebían y procreaban, y algunos eran justos y otros, malvados. Las enfermedades, los acontecimientos inusuales, las desgracias, las catástrofes y otras adversidades se les atribuían a estas hordas de buenos para nada. Para los 1 500 millones de musulmanes actuales, creer en este "mundo invisible" tan rico y poblado de espíritus es un requisito: creer en los ángeles

es el cuarto de los seis artículos de fe del islam.

El Nuevo Testamento y la Iglesia cristiana primitiva, que no era más que una secta del judaísmo, sencillamente le dieron continuidad a la creencia en los demonios poderosos o "espíritus inmundos", como también los llamaban. Estos demonios fueron responsables de propagar falsas doctrinas (1 Timoteo 4:1); hicieron prodigios (Apocalipsis 16:14); se enseñorearon del reino de la oscuridad (Efesios, 1:21, 3:10), etc. En la demonología del Nuevo Testamento, es particularmente notable la frecuencia con la que las personas eran poseídas por diablos o espíritus malignos. Se trata de la continuación de una creencia judaica y mesopotámica en la posesión diabólica, a la que se le atribuían rutinariamente enfermedades que hoy sabemos que tienen orígenes mentales (Mateo 8:16, 12:27; Marcos 1:34; Lucas 7:21, 11:19, Hechos 19:13-16). Los apóstoles exorcizaban a los espíritus malignos allí donde podían; el caso más dramático fue el exorcismo del cementerio de Gerasa, donde los demonios huyeron del poseído y se abalanzaron sobre una piara de cerdos que condujeron hacia su muerte en el mar de Galilea. Conversos como Pablo también tenían estos poderes y los ejercían en forma efectiva; por ejemplo, cuando expulsó el espíritu maligno de la muchacha de Filipos (Hechos 16:16). A veces no tenían éxito, como ocurrió con el muchacho que hoy sabemos que probablemente sufría epilepsia (Mateo 17:14-21; Marcos 9:14-29; Lucas 9:37-43).

Como ha escrito el estudioso católico John L. McKenzie (de quien he tomado las referencias previas): "Así, la creencia en seres celestiales ocurre a lo largo de toda la Biblia, y muestra consistencia" (McKenzie, 1966, p. 32). McKenzie añade: "Pero mientras que debe entenderse que el uso de imágenes populares subyace a muchos detalles del concepto de demonio en el Nuevo Testamento, la Iglesia siempre ha enseñado que existen espíritus malvados personales y ha insistido en que son malvados por su propia voluntad y no de origen" (McKenzie, 1966, p. 194).

La tradición protestante conserva ideas comparables. Martín Lutero sostenía que los demonios vivían en todas partes, pero que eran especialmente comunes en Alemania; John Wesley escribió en su *Diario,* en 1768, que "Renunciar a la brujería es, en los hechos, renunciar a la Biblia". Consideraba que la brujería era "una gran prueba del mundo invisible".

No es sorprendente que 500 años después, la mitad de los estadunidenses le respondan a los encuestadores que creen que existe el diablo, y que 10% afirmen haberse comunicado con él (Sagan, 1997, p. 123). El alcance de estas creencias se ha documentado más recientemente mediante los hallazgos del extenso estudio Reporte Pew 2008 sobre las creencias y las prácticas religiosas en Estados Unidos.[25] Este sondeo de 35 000 adultos estadunidenses, la mayor parte de los cuales había terminado la preparatoria, encontró que creer en algún tipo de dios era casi unánime (92%) y que no

se trataba del dios lejano, prístino en el que creían los deístas del siglo XVIII, sino de un dios activamente involucrado en los asuntos personales y los acontecimientos mundiales. Cerca de ocho de cada diez adultos estadunidenses (79%) está de acuerdo en que siguen ocurriendo milagros, como en la Antigüedad. Existen patrones similares en lo que se refiere a las ideas sobre ángeles y demonios. Cerca de siete de cada diez estadunidenses (68%) creen que en el mundo están activos ángeles y demonios. La mayor parte de los Testigos de Jehová (78%), de los miembros de iglesias evangélicas (61%) y negras históricas (59%) y protestantes y mormonas (59%) están *totalmente* convencidos de que existen ángeles y demonios.

La constelación de creencias religiosas tradicionales, en particular las que aseguran que existe una intervención continua de dios, los ángeles y los espíritus en los asuntos humanos, requiere que el mundo, los seres humanos incluidos, esté hecho de ciertas formas, que tenga cierta ontología y que los humanos puedan conocer e interactuar con estos entes supernaturales. En parte, todo esto equivale a una visión religiosa del mundo, una idea sobre la forma en que deben estar hechos tanto el mundo como los seres humanos para permitir, o fundamentar, la creencia, la experiencia y la práctica religiosa. Como es bien sabido, santo Tomás de Aquino, el imponente intelectual de la Edad Media, consagró sus esfuerzos a determinar las propiedades y las cantidades de ángeles, y a determinar si "Los ángeles, ¿difieren o no difieren en especie?" (Aquino, 1270/1920, parte 1, cuestión 50, artículo 4). Henry Gill, sacerdote católico, filósofo y profesor de física, expresó en forma sucinta el tipo de visión del mundo que tienen muchas personas religiosas:

> Será útil recordar brevemente la enseñanza católica sobre la existencia de los espíritus. Las escrituras están llenas de referencias a espíritus buenos y malos. Hay ángeles buenos y malos. Cada uno de nosotros posee un ángel guardián, cuya presencia, ay, olvidamos con frecuencia. Como el catecismo nos enseña, los ángeles han sido enviados por Dios como sus mensajeros [Gill, 1944, pp. 127-128].

Sociedades tradicionales

En las sociedades tradicionales o indígenas, las convicciones sobre el "mundo invisible" y las interacciones entre este mundo sobrenatural y el cotidiano suelen estar reforzadas por creencias animistas, según las cuales las plantas y los objetos naturales están dotados de inteligencias y atributos espirituales, y puede influirse sobre los procesos naturales mediante rituales, ensalmos, talismanes, pociones, magia, brujería y hechizos. En la mayor parte de estas culturas, los espíritus son ubicuos y poseen inmensos poderes; aparecen en las historias, las leyendas y los mitos tradicionales, y apuntalan una gran variedad de prácticas sociales, en particular las médicas.

Papúa Nueva Guinea es un caso representativo. En los primeros meses de 2013, se

cometió una serie de asesinatos brutales y horrorosos relacionados con prácticas de hechicería. En enero, en las afueras de Mt. Hagen, la capital de las Tierras Altas Occidentales, una madre de 20 años de edad fue acusada de brujería, bañada en petróleo y quemada viva en lo alto de una pila de basura y neumáticos. Se suponía que había usado sus poderes de bruja para matar a un niño que había sido admitido al hospital con dolor de pecho. En marzo, un hombre de las Tierras Altas se comió a su hijo recién nacido con el objetivo de fortalecer sus poderes como hechicero. Ese mismo mes, en las Tierras Altas del Sur, seis supuestas brujas fueron torturadas con hierros candentes, y una fue quemada viva. En abril, en Bougainville, dos mujeres mayores, acusadas de ser brujas y de provocar la muerte de un maestro de escuela, fueron torturadas por tres días y luego decapitadas frente a una gran multitud entre la que se encontraban oficiales de policía. En una sola provincia de las Tierras Altas, Simbu, ocurren al año 150 ataques vinculados con la hechicería y justificados por ella.[26] Al mismo tiempo, el gobierno de Papúa Nueva Guinea publicó un reporte sobre la epidemia de sida en el país, en el que se detallaba la prevalencia y la inutilidad de los tratamientos tradicionales, tales como hacer que los enfermos se sentaran en la cima de chozas dentro de las cuales se queman "fuegos especiales", con la esperanza de que el humo que asciende se lleve con él los espíritus malignos que habitan en la persona y provocan la enfermedad. Philip Gibbs, que por mucho tiempo ha ejercido el sacerdocio católico en Papúa Nueva Guinea, se ocupó del importante tema de las visiones científicas y bíblicas del mundo cuando describió la cultura de Papúa Nueva Guinea como una en la que priva "una visión del mundo preilustrada, o bíblica […] No creen en coincidencias o accidentes. Cuando algo malo ocurre no preguntan qué lo provocó sino quién lo provocó" (Elliot, 2013, p. 18).

En la Ley de Brujería de 1971, se reconoce la existencia y la eficacia de la hechicería. En 1977, un estudio de la Comisión Legislativa de Papúa Nueva Guinea, *Sorcery in PNG,* concluyó:

> Hemos esbozado algunas ideas generales sobre la hechicería que conocemos gracias a nuestra experiencia como habitantes de Papúa Nueva Guinea. Para obtener una opinión equilibrada de la hechicería, queremos decir que la hechicería es en buena medida un asunto que tiene que ver con las creencias más personales de las personas. El miedo a, o la práctica de la hechicería o varias formas de magia negra, es un fenómeno mundial. La hechicería o magia negra existe en Europa, en Asia, en África y en Norte y Sudamérica, así como en el Pacífico.
>
> Las religiones más importantes del mundo afirman que existen fuerzas o personalidades más poderosas que los humanos y los animales. Que pueda demostrarse que existen estos poderes o personalidad suele ser bastante irrelevante para quienes creen. De estas creencias se siguen muchas prácticas y procedimientos [Narokobi, 1977, p. 19].

La revisión que se hizo en 2013 del marco jurídico busca negar la existencia de estos poderes y convertir en delitos los acosos, torturas y asesinatos de los supuestos *sanguma.* Esta situación de la sociedad tradicional en Papúa Nueva Guinea se repite, en formas a

veces más extremas, a veces menos, en muchas otras sociedades tradicionales, y también en algunas en las que el mundo de los espíritus tiene una gran influencia y se encuentran integrados miles de años de tradiciones, folclor y supersticiones. Si bien algunos estudiosos en las filas de los ámbitos que no se superponen (NOMA) y ciertos posmodernistas aseguran que la ciencia no puede desmentir la existencia de estos espíritus, el marco jurídico revisado de Papúa Nueva Guinea recurre a la ciencia moderna para afirmar que los espíritus no existen, y que por lo tanto no pueden usarse como defensa en un caso de agresión u homicidio; los vendedores de "medicina espiritual" y curas mágicas serán acusados de fraude. La revisión de la Ley de Brujería exige rechazar la postura de que la "ciencia es neutral".[27]

Desde luego, estas creencias y prácticas no están circunscritas a las sociedades "tradicionales": el exorcista oficial del Vaticano, el padre Gabriele Amorth, que ha realizado 70 000 exorcismos, asegura que muchos casos de pedofilia fueron obra directa de los demonios que poseyeron o influyeron de algún modo a los sacerdotes transgresores (Amorth, 2010).

A pesar de que estos ángeles y espíritus son ubicuos, están dotados de poderes extraordinarios y se les acusa de provocar tsunamis, sida, esquizofrenia, adulterio y muchas otras cosas, no aparecen en los laboratorios ni en los textos científicos; no se han ganado un lugar en la comprensión científica de los mundos naturales, sociales o personales. La ciencia no ha encontrado que ningún espíritu tenga una interacción causal con el mundo, y aquellos que supuestamente tenían dichas interacciones han estado en franca retirada desde que se establecieron explicaciones científicas alternativas. Esto provoca una desconexión: las afirmaciones sobre la existencia de seres sobrenaturales están en desacuerdo, o son absolutamente perpendiculares, a la visión del mundo y las actividades de la ciencia. Negar la eficacia o la existencia misma de "malos" espíritus o demonios indica que hay una protociencia. El argumento básico es que "no existe evidencia" para esta posesión a manos de espíritus malvados, y que la evidencia (de pedofilia o de muerte de niños) puede explicarse mediante otra causas (naturales). Esta afirmación básica transporta la discusión hacia el campo de la ciencia y del estudio de las evidencias. Sin embargo, una vez que se ha hecho esa transición, ¿por qué no extender la investigación hacia la eficacia o existencia de espíritus "buenos" y ángeles?

El problema educativo es qué hacer con estas creencias. ¿No debería hacerse nada, de modo que el *statu quo* cultural permanezca intacto? ¿Debería animarse a los alumnos a creer únicamente en los espíritus buenos y no en los malos? Y, si se escogen los espíritus buenos, ¿debe creerse en ellos por razones ontológicas (de verdad existen) o por razones instrumentales (creer en ellos es inofensivo, estimula el buen comportamiento y es parte de la tradición cultural o religiosa)? ¿O no debe creerse en ninguna clase de espíritu? Esta última fue la decisión de Joseph Priestley, el famoso científico, historiador, filósofo, teólogo y ministro disidente inglés: "La idea de que la locura es provocada por espíritus malvados que desordenan las mentes de los hombres, si bien era lo que creían los paganos, los judíos en los tiempos de nuestro Salvador, y los apóstoles mismos, es muy improbable, puesto que los hechos pueden explicarse de una forma mucho más natural" (Rutt, 1817-1832/1972, vol. 7, p. 309).

Para Priestley, Jesús está equivocado cuando le atribuye la cura de la locura a la expulsión de los espíritus malignos, puesto que la ciencia y la filosofía posteriores demostraron que no existe nada que expulsar.[28]

Olugbemiro Jegede, un importante pedagogo de la ciencia africano, desarrolla las visiones del mundo que comparten "todas las comunidades africanas" y en las que debería estar "cimentada" la enseñanza de la ciencia. Son las siguientes:

1) La creencia en un ser independiente cuyos poderes espirituales se difunden a través de los dioses (del trueno, del fuego, el hierro) y los ancestros;
2) la reencarnación y la continuidad de la vida tras la muerte;
3) los humanos como el centro del universo en el pensamiento africano tradicional;
4) la teoría de la causalidad (Jegede, 1989, p. 193).

Jegede cita el trabajo de 13 antropólogos y pedagogos que "hoy confirman la postura de que la [visión de la naturaleza] africana es antropomórfica, a diferencia de la noción mecanicista de la naturaleza de la ciencia occidental". En una publicación posterior, Jegede presenta un cuadro con "algunas características que distinguen las bases de las culturas africana y occidental", que se reproduce en el cuadro X.1 (Jegede, 1997, p. 7).

El cuadro X.1 representa una clara dicotomía entre la ciencia indígena africana y la ciencia ortodoxa. La tarea educativa y filosófica es determinar cómo enfrentarse a esta dicotomía: ¿conservar la primera, la segunda o ambas? ¿Cuáles son los costos intelectuales, culturales y sociales de cada decisión? ¿Vale la pena pagarlos? Jegede opina que: "De esto se desprende la necesidad de diseñar una enseñanza de la ciencia que satisfaga las necesidades de África de modo tal que la idea africana de la naturaleza, los factores socioculturales y el razonamiento lógico dialéctico que forman parte de la metafísica africana se atiendan dentro de una comunidad global en cambio constante" (Jegede, 1997, p. 15).

CUADRO X.1. *La ciencia tradicional africana y la ciencia occidental*

Ciencia tradicional africana	*Ciencia occidental*
Antropomórfica	Mecanicista, exacta y basada en hipótesis
Monista-vitalista y metafísica	Busca leyes empíricas, principios, generalizaciones y teorías
Basada en una cosmología entretejida con la religión tradicional	Es un bien público, divorciado de la religión
Se comunica de manera oral	Se documenta, fundamentalmente, de manera impresa
Los ancianos son los depositarios de un conocimiento que es verdadero y no debe cuestionarse	La verdad es tentativa y cualquier puede cuestionarla
El aprendizaje es una actividad comunitaria	El aprendizaje es una actividad individual

Ocuparse de estos asuntos en forma inteligente requiere más que el típico plan de estudios para maestros, enfocado en las habilidades de manejo de clase y las teorías del aprendizaje; exige aportes históricos y filosóficos, algo de lo que claramente careció el distrito escolar de Portland cuando adoptó *The Portland African-American Baseline Essays* [Los ensayos afroamericanos de referencia de Portland] como guía para su programa de ciencias (Adams, 1986; Martel, 1991).

Éste no es el lugar apropiado para sondear la infinidad de visiones no occidentales del mundo que movilizan a las culturas contemporáneas e inspiran sus ciencias particulares.[29] Tampoco lo es para enumerar el detallado y rico conocimiento empírico sobre la vida animal, la astronomía, la horticultura y la tecnología que poseen las sociedades tradicionales. Por el contrario, es importante concentrarse en la visión del mundo o los aspectos "teóricos" de los sistemas tradicionales de creencias y en cómo reconocer y ocuparse de ellos en la enseñanza de la ciencia. Las observaciones de Jegede son ejemplos elocuentes de los argumentos que presentaremos, en particular, que hay algunos supuestos epistemológicos y ontológicos centrales de la ciencia occidental que se encuentran en un conflicto objetivo con los supuestos centrales de algunos sistemas tradicionales de creencias. Si esto es así, se requieren respuestas educativas analíticas.

Los problemas de esta disputa ontológica son los siguientes:

1) ¿El mundo está conformado de tal modo que sirve a los intereses humanos?
2) ¿Los procesos del mundo son teleológicos? Es decir, ¿los acontecimientos y los comportamientos ocurren con el propósito de producir algún estado final

determinado?

3) ¿Los procesos inanimados y no humanos son provocados y controlados por influencias espirituales?

Tras siglos de investigaciones y discusiones tumultuosas, la tradición científica occidental ha respondido "no" a todas estas preguntas, pero muchos sistemas tradicionales de creencia aún sostienen algunas o todas estas proposiciones. Pueden reconocerse los lentos y desmañados intentos de los filósofos presocráticos por disociar sus ideas sobre el mundo de las visiones míticas caracterizadas por las dimensiones antropomórficas, animistas y teleológicas que se mencionan arriba. La ciencia occidental ha continuado, lentamente, el proceso de deshacerse de estos rasgos.

El contenido básico de la discusión epistemológica es el siguiente:

1) ¿El conocimiento proviene de la observación de las cosas tal como se encuentran en su estado natural?

2) ¿Las afirmaciones de conocimiento se ven validadas por las predicciones exitosas?

3) ¿Hay clases o figuras de autoridad particulares que determinan el conocimiento o se convierten en sus custodios?

4) ¿El conocimiento es un sistema fijo e inmutable?

Como ocurrió con las preguntas ontológicas, la respuesta de la tradición científica occidental a todas estas preguntas es "no", mientras que las sociedades tradicionales sostienen que son ciertas algunas o todas ellas. Por supuesto, existen algunos debates sobre los estados naturales, la predicción, la institucionalización del conocimiento y los procesos de acreción *versus* revolución en ciencia. Sin embargo, por más matizado que sea el enfoque, sigue siendo evidente el conflicto entre la ontología y la epistemología científica y muchas ontologías y epistemologías tradicionales. Ésta es la opinión que presentó Robin Horton en su estudio clásico sobre la ciencia africana y la occidental. Tras esbozar muchos puntos de encuentro entre la ciencia africana y la occidental, concluye llamando la atención hacia sus profundas diferencias. Para Horton:

> La diferencia clave es muy sencilla: en las culturas tradicionales no hay una conciencia desarrollada de que existen alternativas al conjunto establecido de principios teóricos, mientras que en las culturas científicamente orientadas dicha conciencia está muy desarrollada. Es a esta diferencia a la que nos referimos cuando decimos que las culturas tradicionales son "cerradas" y las culturas científicamente orientadas son "abiertas" [Horton, 1971, p. 153].

Una de las razones para preocuparse por la enseñanza de la ciencia occidental en las sociedades tradicionales es que este conflicto se extiende, muy rápidamente, hacia otros ámbitos. Casi todos los estudiosos observan que la ciencia tradicional está mucho más

integrada a otros sistemas culturales importantes que en Occidente, al menos en apariencia. La ciencia tradicional está vinculada con la religión, la salud, la política, la estructura social y las costumbres culturales. Lo que se teme es que la ciencia occidental no sólo subvierta la ciencia tradicional sino que, como consecuencia, trastorne un conjunto importante de instituciones sociales y de creencias y que contribuya a la destrucción de la cultura tradicional.

Este miedo a que la ciencia occidental trastorne la cultura y las instituciones tradicionales suele ser infundado, y con frecuencia indica que existe una actitud paternalista que da por sentado que las otras culturas son tan débiles que no pueden tomar decisiones inteligentes y sensatas sobre cómo adaptarse a la presencia de la ciencia moderna. Los miembros de la comisión legislativa de Papúa Nueva Guinea no dejan de ser miembros de la cultura de su país cuando declaran que no existen los espíritus malignos que animan la brujería. Papúa Nueva Guinea se ajusta, crece y se moderniza. Los sudafricanos no dejaron de pertenecer a su cultura cuando declararon que son los virus, y no los espíritus malignos, los responsables de la terrible epidemia de sida en el país.

Antes presentamos ejemplos de culturas y tradiciones pobladas de espíritus que poseen metafísicas y compromisos epistemológicos definitivamente no occidentales. La enseñanza de la ciencia en estas culturas y sociedades plantea temas importantes sobre los propósitos de la enseñanza de la ciencia y sobre la diferencia entre *entender* la ciencia y *creer* en la ciencia. Algunos sostienen que la enseñanza de la ciencia debería dejar intactas las creencias culturales; que los alumnos deberían dejar la visión del mundo (la ontología, la epistemología, la metafísica, la estructura de autoridad, la religión) de su cultura en la puerta del salón, entrar para aprender en forma instrumental los contenidos de la ciencia, y salir para convertirse otra vez en participantes plenos de su cultura. Esto equivale casi a abogar por un enfoque antropológico de la enseñanza de la ciencia. Del mismo modo que puede esperarse que los antropólogos aprendan *sobre* las creencias y las prácticas de diferentes sociedades sin que las adopten o las crean ellos mismos, algunos dicen que los alumnos pueden aprender ciencia del mismo modo: como si fueran alumnos "espectadores", que aprenden pero no creen o internalizan.[30] Es el tipo de aprendizaje que practican los antropólogos y los historiadores que estudian otras culturas y periodos: aprenden lo que otros han creído sin que exista la necesidad de que ellos mismos lo crean.

Cruce de fronteras

En un artículo muy citado, Glen Aikenhead ha defendido dicha estrategia, que ha bautizado "cruce de fronteras" (Aikenhead, 1996). Del mismo modo que los turistas no pierden su identidad cultural cuando cruzan fronteras, aunque adopten de forma temporal costumbres extranjeras para manejar, comer, vestirse y hablar, los alumnos de ciencia no deberían tener que perder sus identidades culturales (como católicos romanos tradicionales, cristianos fundamentalistas, practicantes del diseño inteligente, habitantes de Papúa Nueva Guinea, etc.) porque su laboratorio de ciencia no tiene sitio para sus variadas creencias. Los alumnos son turistas en "Cienciolandia", no inmigrantes. Se trata de una forma pedagógica de ámbitos que no se superponen que obtiene su sustento intelectual de las afirmaciones kuhnianas-feyerabendianas sobre la inconmensurabilidad, con una generosa guarnición de constructivismo social y que se encuentra profundamente en desacuerdo con la tradición ilustrada, que busca internalizar el pensamiento científico.

Existe un profundo contraste entre las aspiraciones de los filósofos de la Ilustración y los pedagogos contemporáneos partidarios del "cruce de fronteras", y habla con elocuencia de una enorme discrepancia entre la apreciación de la ciencia de unos y otros. Esto es sin duda lo que ocurre. Considérese la afirmación de que los pedagogos deben

aprender "cómo desprivilegiar la ciencia en la educación y liberar a nuestros niños del 'régimen de verdad' que les impide aprender a aplicar la abundancia de formas simultáneas, pero diferentes, del conocimiento humano con el objetivo de resolver los problemas que se les presentan hoy y en el futuro" (Van Eijck y Roth, 2007, p. 944). Considérese también la aseveración de que "los estudios sociales de la ciencia" revelan que es "mecanicista, materialista, reduccionista, empírica, racional, descontextualizada, matemáticamente idealizada, comunitaria, ideológica, masculina, elitista, competitiva, explotadora, impersonal y violenta" (Aikenhead, 1997, p. 220).

Esta aseveración es muy sorprendente. ¿Busca describir el trabajo de Galileo? ¿Newton? ¿Huygens? ¿Priestley? ¿Darwin? ¿Mendel? ¿Faraday? ¿Mach? ¿Thompson? ¿Lorentz? ¿Maxwell? ¿Rutherford? ¿Planck? ¿Einstein? ¿Bohr? ¿Curie? ¿Describe el trabajo de Edward Jenner para desarrollar la vacuna de la polio? No se nos explica cuál es la ciencia que merece tal descripción. Se trata, evidentemente, de un conjunto o collage que debería desenmarañarse, pero esto no se hace. Si se lee la descripción de Aikenhead, uno se pregunta si la ciencia debería estar siquiera en el plan de estudios; tendría que ser clasificación X, y hasta el cruce de fronteras podría resultar peligroso.

Otros influyentes pedagogos de la ciencia comparten los juicios negativos que hace Aikenhead sobre la ciencia. Considérense, por ejemplo, las afirmaciones que se hicieron en un importante manual contemporáneo sobre enseñanza de la ciencia:

> Uno de los primeros lugares en el que los investigadores críticos pueden buscar formas de opresión es la ciencia positivista (o modernista) […] la ciencia modernista está comprometida con el expansionismo o crecimiento […] la ciencia modernista está comprometida con la producción de ganancias y mediciones […] la ciencia modernista está comprometida con la preservación de las estructuras burocráticas […] La ciencia es una fuerza de dominación, no a causa de su veracidad intrínseca sino de la autoridad social (el poder) que ella acarrea [Steinberg y Kincheloe, 2012, pp. 1487-1488].

No queda claro qué se busca afirmar aquí. Estas aseveraciones demuestran la necesidad de que los pedagogos de la ciencia estén bien informados y sean cuidadosos y considerados en su enfoque de la historia y filosofía de la ciencia; una lectura superficial no es suficiente. Además de resultar confusas y contradictorias, las descripciones anteriores no se sostienen. Eliminar al sujeto del panorama y basarnos en instrumentos de medición (reglas, básculas, termómetros, barómetros, relojes) en vez de confiar en apreciaciones subjetivas de longitud, peso, temperatura, presión y duración; usar matemáticas; emplear idealizaciones y abstracciones; evaluar la evidencia objetiva; ser pública, comunitaria; imprimir, criticar y debatir… todas estas cosas permitieron que ocurriera una revolución científica en la Europa del siglo XVII y que avanzara hasta su estado internacional actual. Sobra decir que Copérnico y Galileo no tenían ninguna autoridad social para imponer su heliocentrismo; por el contrario: aunque Lysenko y su genética no mendeliana tenían el respaldo de la opresiva y abrumadora autoridad de

Stalin, tanta autoridad no le sirvió de nada. Las críticas sin fundamento a la ciencia que acabamos de leer carecen de estas ideas fundamentales.

Para llevar a cabo sus actividades, la ciencia occidental debe estar basada, al menos, en un naturalismo metodológico (NM). Se trata de la noción de que, al hacer ciencia, todo lo que ocurre en el mundo debe explicarse mediante mecanismos y entidades naturales, y que estas entidades y mecanismos son los que la ciencia revela o, en principio, es capaz de descubrir. Este supuesto metodológico no excluye los milagros, las intervenciones divinas u otras causas no científicas; sólo implica que estos procesos no pueden invocarse durante la búsqueda de explicaciones científicas. Existe una transición histórica de una metodología más abierta, mixta o relajada a una ciencia que considera el naturalismo metodológico el principio definitorio de la investigación científica. Como afirma Robert Pennock sobre el asunto: "La ciencia ha abandonado por completo el recurso a lo sobrenatural. En buena medida esto es resultado de los continuos fracasos de una amplia gama de 'teorías sobrenaturales' que compiten con alternativas naturales específicas" (Pennock, 1999, p. 282).

La National Academy of Sciences de Estados Unidos respaldó la misma postura: "La ciencia se limita a explicar el mundo natural mediante causas naturales. La ciencia no puede decir nada acerca de lo sobrenatural. Si Dios existe o no es una pregunta sobre la cual la ciencia permanece neutral" (NAS, 1998, p. 58).

Parece una buena división del trabajo, un "vive y deja vivir", pero ignora el problema evidente de si la ciencia puede decir algo sobre las supuestas evidencias de la existencia de Dios. Muchas de estas evidencias (el diseño, la eficacia de las plegarias, las experiencias místicas) están al alcance de la ciencia, y la ciencia no tiene por qué permanecer neutral ante ellas.

Una versión más estricta del naturalismo es el naturalismo ontológico (NO), a veces llamado naturalismo metafísico. Consiste en la idea de que existe una explicación científica para todos los acontecimientos, que las explicaciones sobrenaturales (por ejemplo, la intervención divina o los milagros) simplemente no ocurren. Muchos creen que el naturalismo ontológico es sencillamente dogmático, y puede serlo si se mantiene *ex ante* como un principio filosófico: ¿quién puede afirmar, antes de examinar la evidencia, cómo funciona el mundo o qué cosas existen en él? Pero también puede sostenerse con base en un fundamento doble y menos dogmático:

1) Hasta ahora no se han presentado evidencias creíbles sobre la existencia de cualquier supuesta entidad no natural o que se encuentre fuera del ámbito científico.

Por supuesto muchas personas rechazan (1), lo que constituye un argumento totalmente independiente. Sin embargo, algunos aceptan (1) y sin embargo afirman que el

naturalismo ontológico no se desprende de él, o sólo se desprende de modo dogmático, pues nadie sabe qué evidencias puedan presentarse. Pero los naturalistas ontológicos no dogmáticos pueden añadir una segunda etapa a su argumento:

2) No crea en cosas para las cuales no tenga evidencias.

Si se acepta (2), entonces efectivamente se tiene un naturalismo ontológico, momento en el cual la acusación de dogmatismo pasa a recaer en (2), y ya no en la convicción en el naturalismo ontológico. Sin embargo, la creencia en (2) no tiene por qué ser dogmática; bien puede ser la postura "default", y su opuesto, es decir mantener convicciones para las cuales no existe evidencia, es lo dogmático. Pueden concebirse creencias como estas últimas —en eso consiste, en parte, la creación de hipótesis—, pero no pueden mantenerse sin evidencia. De esto se trataba, en esencia, el argumento de la "tetera" de Bertrand Russell:

> Debería llamarme a mí mismo agnóstico, pero para todo fin práctico soy un ateo. No creo que la existencia del Dios cristiano sea más probable que la existencia de los dioses del Olimpo o el Valhalla. Por dar otro ejemplo: nadie puede probar que entre la Tierra y Marte no haya una tetera que se mueve en una órbita elíptica, pero tampoco hay nadie que lo crea lo suficientemente probable como para tomarlo en cuenta en la práctica. Creo que el Dios cristiano es igualmente improbable [Russell, 1958].

Los naturalistas metodológicos y ontológicos científicamente informados admiten la existencia de cualquier tipo de entidad (por ejemplo, átomos, campos, fuerzas, quarks, bosones, fermiones, materia oscura) que la ciencia propone o cuyas relaciones causales con el resto de la naturaleza revela. Sin embargo, los naturalistas ontológicos no aceptan la existencia de entidades espirituales o divinas, o cualquier ente que no forme parte de relaciones causales con la naturaleza que estén científicamente demostradas y que obedezcan leyes.

Si bien con frecuencia se confunden, existe una diferencia entre el realismo y el naturalismo (incluido el materialismo). El realismo sencillamente afirma que existe un mundo independiente de la mente humana. Este mundo independiente puede incluir espíritus, mentes, universales, objetos matemáticos, formas o cualquier otra cosa con existencia independiente. El realismo ni afirma ni descarta la existencia de ningún supuesto ser. Un realista teológico cree que los ángeles existen; un instrumentalista teológico cree que la palabra "ángel" es una forma de decir que algo "hace que la gente se porte bien" o "fortalece nuestros lazos culturales". El naturalismo es una subespecie del realismo; afirma que las únicas cosas que existen son las que la ciencia postula e incorpora en las teorías maduras y exitosas; el materialismo, a su vez, es una subespecie del naturalismo. Las personas religiosas tradicionales deben rechazar el naturalismo ontológico, pero por supuesto los científicos religiosos adoptan, rutinariamente, el

naturalismo metodológico en el laboratorio, pues de otro modo estarían excluidos de las actividades científicas.[31]

Los materialistas son una subespecie de los naturalistas ontológicos, pero son menos relajados sobre el tipo de cosas que pueden existir. Los materialistas básicos o de la “vieja escuela” sólo reconocen la existencia de los objetos materiales, físicos, “tridimensionales”, el tipo de cosas que pueden tocarse. Rechazan la postulación de entes científicos no materiales, pues creen que es un fracaso de la empresa científica y conduce a la pendiente resbaladiza del idealismo. Es evidente que se trata tanto de una postura metafísica *a priori* como de una deducción de la práctica científica. El materialismo emergente es una versión más sofisticada, para la cual el mundo sigue siendo material pero estratificado. Los conglomerados de materia tienen más propiedades y son diferentes de las propiedades de los bloques que los conforman. Así, las células tienen diferentes tipos de propiedades que las moléculas, los cerebros que las neuronas, las sociedades que los individuos, etc. Para los materialistas emergentes el mundo cambia y evoluciona continuamente, y en la medida en que las conformaciones de la materia se vuelven más complejas, emergen nuevas propiedades; por esta razón el materialismo emergente es, en principio, antirreduccionista.[32]

El cientificismo es una subespecie del naturalismo; muchos sostienen esta última postura sin comprometerse con la primera.[33] Del mismo modo que el positivismo, el cientificismo ha tenido mala prensa en las ciencias sociales, en la filosofía "crítica" y posmoderna y en particular en la enseñanza constructivista de la ciencia. En estos ámbitos, ser "cientificista" se considera sinónimo de reduccionista, de mente cerrada, superficial, imperialista cultural y poseedor de otros defectos con los que no querría verse asociada ninguna persona sensata y bien educada. ¿Pero el cientificismo es tan malo, o tan evidentemente fuera del redil intelectual?

Como se esbozó en el capítulo II, el inicio del cientificismo puede rastrearse hasta la afirmación, alguna vez revolucionaria, que hicieron Newton, Condorcet y los primeros filósofos de la Ilustración, de que los métodos y las perspectivas de la nueva ciencia debían aplicarse fuera del laboratorio; debían emplearse para comprender y resolver otros problemas sociales y culturales urgentes, incluidos los asociados con las supersticiones y el ejercicio de poderes eclesiásticos y feudales injustificados. Trescientos años después, como se documenta en el capítulo I, este "protocientificismo" ha sido repetido por la American Association for the Advancement of Science (AAAS), que sostiene que:

> Una persona científicamente culta es aquella que está consciente de que la ciencia, las matemáticas y la tecnología son actividades humanas interdependientes con sus propias fortalezas y limitaciones; comprenden los conceptos y principios centrales de la ciencia; están familiarizadas con el mundo natural y reconocen tanto su diversidad como su unidad *y emplean el conocimiento científico y las formas científicas de pensar con propósitos individuales y sociales* [AAAS, 1989, p. 4; las cursivas son mías].

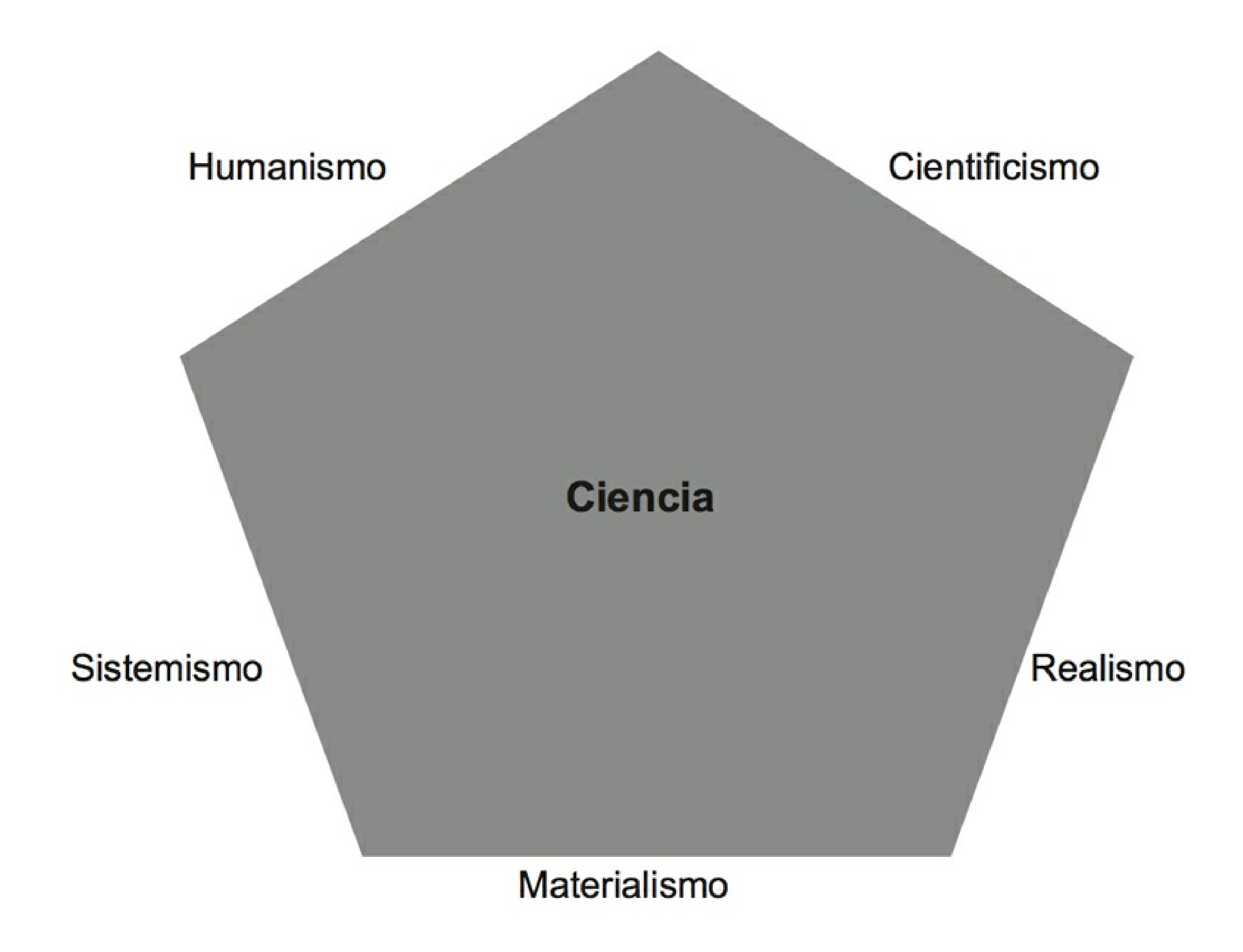
En su *Benchmarks for Science Literacy* [Estándares de alfabetismo científico], la American Association for the Advancement of Science dice que la enseñanza de la ciencia debe "preparar a los alumnos para abrirse paso en el mundo real, un mundo en el que abundan problemas en el hogar, en el trabajo, en la comunidad y en el planeta" (AAAS, 1993, p. 282). La contribución única del programa de ciencia a este objetivo educativo general de resolver problemas y mejorar la sociedad es la de cultivar y refinar los hábitos mentales científicos. Aquí es donde inicia el paso del protocientificismo al cientificismo.

El cientificismo es la idea de que los métodos de las ciencias naturales son los únicos que permiten obtener conocimiento de los mundos naturales, sociales y personales; no existen otras rutas. Escuchar a los gurús, usar tablas de güija, invocar médiums, recordar sueños, leer textos sagrados o consultar astrólogos sencillamente no ofrece conocimientos sobre la naturaleza (los terremotos), las circunstancias sociales (el derrumbe de las economías), los eventos públicos (el desencadenamiento de guerras) o incidentes físicos

personales (enfermedades súbitas o muertes) o incluso incidentes psíquicos personales (alucinaciones, estados emocionales, etc.). Estas fuentes pueden invitar a probar hipótesis o ideas, pero no proporcionan conocimiento. Así formulado, el cientificismo no es la idea “fuera del redil” que suele considerarse.

Durante al menos un siglo, uno de los desafíos del cientificismo ha sido la posibilidad de que exista una ciencia social científica. Hay una tradición ilustre de pensadores —Nicolas Condorcet, Denis Diderot, Jean le Rond d’Alembert, Auguste Comte, Otto Neurath, Émile Durkheim— que pensaron que las ciencias sociales debían ser científicas, pero esta tradición ha sido acusada, en términos despectivos, de “imitar a las ciencias” (Von Hayek, 1952), y han evolucionado varios tipos de ciencias sociales no científicas, como la *Verstehen,* la hermenéutica, la humanista, etc. Éste no es el lugar para sellar la disputa, pero no resulta para nada obvio que las ciencias sociales no científicas hayan podido arrojar mucha luz, y mucho menos hayan explicado estructuras o acontecimientos históricos, económicos o sociales importantes, como las crisis financieras globales, la Primavera Árabe, la invasión de Iraq, etcétera.

FIGURA X.1. *La ecología de la ciencia de Bunge*



Mario Bunge, un defensor del cientificismo, ha ejemplificado esta postura usando el diagrama de la "ecología de la ciencia progresiva" (Bunge, 2010) (figura X.1). Para Bunge, la ciencia requiere —y sólo puede florecer en— entornos intelectuales caracterizados por estos compromisos políticos, éticos y filosóficos:

- *Humanismo:* los científicos deben fomentar el bienestar humano, no la miseria, los intereses empresariales o las ventajas políticas, causas comunes de corrupción de la ciencia (como ocurrió en la Alemania nazi, la Rusia estalinista o la ciencia actual de los "grandes negocios"). Puede y debe haber ciencia aplicada, pero debe destinarse al bienestar y el mejoramiento humanos.
- *Sistemismo:* los científicos deben reconocer que en el mundo no existen acontecimientos, mecanismos o problemas aislados. Las estructuras y los acontecimientos son partes de un todo sistemático causal o, como dice la famosa frase de John Donne, "los hombres no somos islas". Así, la buena ciencia da origen a campos de investigación interdisciplinaria: geofísica, astrofísica,

bioquímica, psicología social, biología molecular, psicolingüística, etc., y descarta híbridos como la astropsicología o la ciencia creacionista.

- *Materialismo:* los científicos deben buscar causas y explicaciones dentro del ámbito de la ontología de la ciencia aceptada. El naturalismo puede satisfacer este requisito, pero la evocación del *espiritualismo,* el *sobrenaturalismo* o el *tradicionalismo* lo viola. Mientras una sociedad crea que los dioses o los espíritus son los responsables de los terremotos, el presupuesto que se otorgue para la investigación geofísica será limitado.
- *Realismo:* los científicos deben reconocer que existe un mundo externo, independiente de la conciencia y la experiencia humanas y que la ciencia busca proporcionar conocimientos sobre este mundo. El mundo externo es el juez de los esfuerzos científicos por entenderlo.
- *Cientificismo:* los científicos deben estar convencidos de que los métodos científicos pueden aplicarse fuera del laboratorio y de que son la única forma de obtener conocimientos sobre el mundo y la sociedad. Sin este compromiso, los problemas sociales y culturales se abordan en formas totalmente ineficaces; rezar para que acabe el conflicto en Medio Oriente puede ser un actividad cultural agradable, pero no puede revelar nada sobre el conflicto ni sobre cómo remediarlo.

Bunge considera que si alguno de estos elementos se encuentra ausente del entorno ecológico o cultural de la ciencia, ésta se verá limitada y mal orientada, correrá peligro o se convertirá en pseudociencia.

La medida en la que la ciencia y la religión son o no compatibles es un tema de continua preocupación para los pedagogos; influye sobre las interacciones de las escuelas con su sociedad y sobre la vida escolar, los planes de estudio y la enseñanza en el aula. Al considerar este problema, debemos distinguir entre asuntos diferentes que a veces se confunden entre sí.[34]

Primero, ¿es necesario ajustar las afirmaciones y las nociones religiosas para acomodar los hechos y teorías científicos comprobados? En realidad, ya no existen debates serios sobre este tema; los creyentes sensibles y los teólogos informados reconocen que las afirmaciones religiosas deben modificarse o interpretarse de formas no literales para acomodarse dentro de los hechos científicos comprobados o incluso de los que son muy probables. Joseph Priestley, el ilustrado creyente del siglo XVIII, contaba la historia de una mujer de su congregación:

> Una buena anciana que, al preguntársele si creía que Jonás había sido realmente tragado por una ballena, respondió que sí; y añadió que si las Escrituras dijeran que fue Jonás el que se tragó a la ballena lo habría creído también.

Priestley pensaba que estas convicciones sólo indicaban que el término "creer" se usaba erróneamente en este contexto: "Cómo puede decirse que un hombre *cree* lo que es, en la naturaleza de las cosas, *imposible,* para cualquier autoridad, es algo que no puedo concebir" (Rutt, 1817-1832/1972, vol. 6, p. 33).

A partir de san Agustín, todos los pensadores serios concuerdan con Priestley. Se ha debatido qué grado de prueba requiere tener una afirmación factual científica antes de que provoque que se revise una afirmación factual religiosa opuesta. San Agustín pensaba que dicha revisión sólo era necesaria en presencia de afirmaciones "científicas" totalmente probadas. Los detalles de este debate no influyen sobre el argumento que se discute ahora.[35]

Segundo, ¿los creyentes pueden ser científicos? De nuevo, hay un nivel en el que no hay discusión sobre el tema. Como un simple hecho antropológico y psicológico puede constatarse que ha habido y hay infinidad de creyentes de todas denominaciones que son científicos. John Polkinghorne, un sacerdote anglicano, es un ejemplo notable de un físico que también es un creyente (Polkinghorne, 1991, 1996). Muchos de estos individuos contribuyen en revistas tales como *Zygon: Journal of Religion & Science.* Para una de muchas recopilaciones de científicos cristianos contemporáneos, véase Mott (1991). Existen recopilaciones comparables de científicos hindús, islámicos, budistas, mormones y judíos. Estas listas son relevantes para el problema de la compatibilidad psicológica entre creencias científicas y religiosas, pero no revelan mucho sobre la

compatibilidad filosófica o racional de la ciencia y de las creencias religiosas; que puedan reunirse dichos listados podría inclinar a algunos hacia la postura de la compatibilidad, pero hacen falta más argumentos. Algunos científicos son astrólogos, otros canalizan espíritus, algunos más piensan que son Napoleón reencarnado, son racistas o sexistas, y lo mismo para toda una gama de creencias que han albergado científicos de carne y hueso.

Nadie duda de que la ciencia, como un hecho antropológico, puede compararse con muchos sistemas de creencias; recuérdese que Philipp Lenard y Johannes Stark, ambos homenajeados con el premio Nobel, eran ideólogos nazis. Los científicos son humanos, y los humanos, curiosamente, podemos creer toda clase de cosas al mismo tiempo, pero esta compatibilidad psicológica no incide sobre la racionalidad o sensatez de nuestras creencias ni sobre la compatibilidad filosófica entre la ciencia y los sistemas de creencias; estos últimos no se vuelven racionales sencillamente en virtud de que uno o más científicos crean en ellos. La racionalidad es un asunto lógico o normativo; por otro lado, las preguntas filosóficamente interesantes son si un científico puede ser un creyente (o astrólogo, adivino, reencarnacionista, racista, sexista, nazi, etc.) *racional* y cuáles son sus argumentos para serlo.

Tercero, ¿la religión es comparable con la metafísica y la visión científica del mundo? Allí donde existe una incompatibilidad entre las metafísicas y las visiones del mundo de la ciencia y de la religión —como en el caso del atomismo y de la doctrina católica romana tradicional que se detalló antes—, las alternativas por las que suele optarse para reconciliar las diferencias son las siguientes:

1) La ciencia no tiene metafísica; sólo se ocupa de las apariencias y no hace afirmaciones sobre la realidad. Ésta es la alternativa que volvió famosa el positivista católico Pierre Duhem.[36] Es lo que declaran muchos fundamentalistas que dicen, específicamente sobre la evolución, que es "sólo una teoría" (Ben-Ari, 2005).

2) La metafísica de la ciencia es falsa, al menos cualquier supuesta metafísica que sea incongruente con las creencias religiosas. Ésta es la alternativa que defiende la tradición escolástica que se discutió antes y por la que abogan Claude Tresmontant y Seyyed Nasr, citado arriba, y teólogos filosóficos como Alvin Plantinga (2011), E. L. Mascall (1956) y muchos otros.

3) Puede haber metafísicas paralelas e igualmente válidas. Ésta es una vieja alternativa que recientemente cobró relevancia gracias a los ámbitos que no se superponen (NOMA) que planteó Stephen Gay Gould (Gould, 1999). La muy repetida propuesta de Gould fue que:

El magisterio de la ciencia cubre el ámbito de lo empírico: de qué está compuesto el universo (hechos) y por

> qué funciona como lo hace (teoría). El magisterio de la religión se extiende sobre problemas de sentido último y valores morales. Estos dos magisterios no se superponen, ni abarcan todas las formas de investigación (considérese, por ejemplo, el magisterio del arte y el significado de la belleza) [Gould, 1999, p. 6].

El problema de los ámbitos que no se superponen es que, con excepción de los deístas clásicos, para los cuales dios permanece lejos en su reino celeste y no se involucra con lo que sucede en su creación, las convicciones centrales de las tradiciones religiosas es que ambos reinos sí se superponen: que lo sobrenatural tiene que ver con lo natural, que dios se ocupa de su creación, que ciertos textos (la Torá, la Biblia, el Corán, el Libro del Mormón, las escrituras sijs) son de inspiración divina, si no es que de origen divino, que las oraciones son escuchadas, etc. Si se afirma que algo sucede en el mundo, sus causas pueden ser investigadas por la ciencia. Pueden identificarse causas naturales para ese acontecimiento, como se ha establecido de forma rutinaria para hechos catastróficos como los tsunamis y los terremotos y para eventos médicos como la epilepsia y el sida, antes atribuidos a causas antinaturales. O bien puede reconocerse el fracaso de la ciencia para identificar la causa. Como sea, esto último no implica que la hipótesis de la causa sobrenatural sea verdadera, o incluso razonable. Deben presentarse evidencias para sostener esto último, e indicarse las condiciones para que sean aceptadas. Estos dos requisitos están abiertos a la investigación científica común.[37]

Además de permitir que existan nuestras vidas sociales y técnicas, la ciencia ha contribuido de forma muy profunda a nuestra tradición filosófica y cultural; es parte de la "carne" de la ciencia. Sin embargo, con demasiada frecuencia la ciencia sólo presenta los "huesos mondos" de las leyes, las fórmulas y los problemas, los "productos finales" de la ciencia. Ésta es una de las razones por las cuales la ciencia "técnica" avanzada se asocia de forma tan frecuente y ostensible con los fundamentalismos y fanatismos religiosos e ideológicos.[38] La carne cultural de la ciencia debería formar parte de cualquier programa serio de enseñanza de la ciencia.

En una buena educación liberal, los alumnos de ciencia, y con suerte otros alumnos también, aprenderán sobre las dimensiones filosóficas de la ciencia, comenzando con temas rutinarios tales como análisis conceptual, epistemología, valores, etc. Aprenderán asimismo sobre las dimensiones metafísicas de la ciencia, en particular las ontológicas, algunas de las cuales hemos discutido en páginas anteriores, y debería presentárseles la conformación y las posibilidades de aplicación de la perspectiva, hábito mental o temperamento científicos con la esperanza de que sean capaces de tomar decisiones sobre él. Deberían considerar problemas tales como si se requiere una perspectiva científica para resolver los problemas sociales e ideológicos. Al leer sobre diversos científicos valientes, comenzando con Galileo, pasando por Joseph Priestley y siguiendo con Andrei Sakharov (Sakharov, 1968), puede presentárseles a los alumnos el tema de los requisitos sociales y culturales para seguir una carrera en ciencia, ese problema que tanto animó a los científicos, filósofos y reformistas sociales de la Ilustración.

Los alumnos pueden reflexionar en particular sobre el postulado de la tradición ilustrada de que la ciencia, y en general la búsqueda del conocimiento en todos los ámbitos humanos, en términos estrictamente epistemológicos, requiere la protección legal de la libertad de expresión, la libertad de prensa y el respaldo de la diversidad, la libre publicación académica y la libertad de asociación. En ensayos, debates, juicios simulados y obras de teatro, los alumnos pueden considerar preguntas tales como si la promoción y la divulgación de la ciencia implican la presencia de un Estado liberal, secular, democrático y no autoritario, una pregunta de lo más sugerente en China, Paquistán, Arabia Saudí y muchos otros países.

Todo esto contribuye a que las clases de ciencia sean intelectualmente más estimulantes, promueve la enseñanza de la ciencia "con la mente en la masa" y permite vincular distintas materias del plan de estudios (historia, matemáticas, tecnología, religión). Las lecciones de introducción a la historia y a la filosofía de la ciencia les permiten a los alumnos entender mejor la ciencia y la metodología científica que están aprendiendo, apreciar mejor el papel de la ciencia en la formación del mundo y la visión

del mundo contemporáneos y tal vez obtener los conocimientos y el entusiasmo que se necesitan para apoyar la ciencia y difundir los "hábitos mentales científicos".

No cabe duda de que esta educación influye y moldea la visión del mundo de los alumnos, de modo que vale la pena recuperar la nota de advertencia de Frederick Copleston:

> Creo que hay que reconocer que la creación de visiones del mundo es, sin embargo, una actividad bastante riesgosa. Por ejemplo, existe el peligro de sostener supuestos irreflexivos o incontestados en un afán de avanzar en la construcción de un panorama. También existe el peligro de adoptar apresuradamente las conclusiones que deseamos, y de permitir que los juicios personales se vean determinados por prejuicios o factores psicológicos individuales [Copleston, 1991, p. 71].

En la tradición liberal, los maestros de ciencia no crean realmente visiones del mundo sino que animan a los alumnos a identificar y luego a comenzar el análisis y la evaluación de algunos aspectos de ciertas visiones del mundo. Para los pedagogos, lo importante es que los alumnos investiguen y razonen. Cualquier buen maestro de ciencia estará de acuerdo con las famosas palabras que escribió Bertrand Russell en 1916, durante el punto más álgido de la primera Guerra Mundial, al criticar el uso que hacían ambos bandos de las escuelas con fines de adoctrinamiento nacionalista:

> La educación no debería buscar hacerlos pertenecer [a los alumnos] a este o a aquel partido, sino permitirles elegir en forma inteligente entre los partidos; debería tener como objetivo hacerlos capaces de pensar, no hacerlos pensar lo que piensan sus maestros [Egner y Dennon, 1961, pp. 401-402].

AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1989), *Project 2061: Science for All Americans,* Washington, D. C., AAAS (también publicado por Oxford University Press, 1990).

———— (1993), *Benchmarks for Science Literacy,* Nueva York, Oxford University Press.

Adams III, H. H. (1986), "African and African-American contributions to science and technology", en *The Portland African-American Baseline Essays,* Portland, Portland Public Schools.

Aikenhead, G. S. (1996), "Science education: Border crossing into the subculture of science", *Studies in Science Education,* vol. 27, núm. 1, pp. 1-52.

———— (1997), "Toward a first nations cross-cultural science and technology curriculum", *Science Education,* vol. 81, núm. 2, pp. 217-238.

Allen, R. E. (coord.) (1966), *Greek Philosophy. Thales to Aristotle,* Nueva York, The Free Press.

Amorth, G. (2010), *The Memoirs of an Exorcist,* Roma, Ediciones Urano. [Hay edición en español: *Memorias de un exorcista. Mi lucha contra Satanás,* Madrid, Urano, 2010.]

Aquino, Tomás de (1270/1920), *Summa theologica,* trad. de English Dominican Province, Londres, Burns, Otates & Washbourne (edición en línea, 2008). [Hay edición en español: *Suma de teología,* Madrid, Biblioteca de Autores Cristianos, 1988.]

Ashley, B. M. (1991), "The River Forest School and the philosophy of nature today", en R. J. Long (coord.), *Philosophy and the God of Abraham. Essays in Memory of James A. Weisheipl, OP,* Toronto, Pontifical Institute of Medieval Studies, pp. 1-15.

Barbour, I. G. (1966), *Issues in Science and Religion,* Londres, SCM Press. [Hay edición en español: *Problemas de religión y ciencia,* Santander, Sal Terrae, 1971.]

Barbour, I. G. (1990), *Religion in an Age of Science,* Londres, SCM Press.

Ben-Ari, M. (2005), *Just a Theory: Exploring the Nature of Science,* Amherst, Prometheus Books.

Bernal, J. D. (1965), *Science in History,* 4 vols., 3ª ed., Londres, C. A. Watts. [Hay edición en español: *La ciencia en la historia,* México, UNAM-Nueva Imagen, 1959.]

Beyerchen, A. D. (1977), *Scientists under Hitler: Politics and the Physics Community in the Third Reich,* New Haven, Yale University Press.

———— (1992), "What we know about nazism and science", *Social Research,* vol.

59, pp. 615-641.
Blancke, S., J. de Smedt, H. de Cruz, M. Boudry y J. Braeckman (2012), "The implications of the cognitive sciences for the relation between religion and science education: The case of evolutionary theory", *Science & Education,* vol. 21, núm. 8, pp. 1167-1184.
Blum, P. R. (2012), *Studies on Early Modern Aristotelianism,* Leiden, Brill.
Blumenberg, H. (1987), *The Genesis of the Copernican World,* Cambridge, MIT Press.
Boudry, M., S. Blancke y J. Braeckman (2012), "Grist to the mill of anti-evolutionism: The failed strategy of ruling the supernatural out of science by philosophical fiat", *Science & Education,* vol. 21, núm. 8, pp. 1151-1165.
Broad, C. D. (1925), *The Mind and Its Place in Nature,* Nueva York, Harcourt Brace.
Brooke, J. H. (1991), *Science and Religion: Some Historical Perspectives,* Cambridge, Cambridge University Press.
Bunge, M. (1977), *Treatiste on Basic Philosophy,* vol. 3, *The Furniture of the World,* Dordrecht, Reidel. [Hay edición en español: *Tratado de filosofía,* Barcelona, Gedisa, 2008.]
——— (1981), *Scientific Materialism,* Dordrecht, Reidel. [Hay edición en español: *Materialismo y ciencia,* Madrid, Ariel, 1981.]
——— (2003), *Emergence and Convergence,* Toronto, University of Toronto Press. [Hay edición en español: *Emergencia y convergencia: Novedad cualitativa y unidad del conocimiento,* Barcelona, Gedisa, 2009.]
——— (2010), *Matter and Mind: A Philosophical Inquiry,* Dordrecht, Springer. [Hay edición en español: *Materia y mente. Una investigación filosófica,* Pamplona, Laetoli, 2015.]
——— (2012), *Evaluating Philosophies, Boston Studies in the Philosophy of Science,* vol. 295, Dordrecht, Springer.
Butts, R. E., y J. W. Davis (coords.) (1970), *The Methodological Heritage of Newton,* Toronto, University of Toronto Press.
Chan, W.-T. (1969), *A Source Book in Chinese Philosophy,* Princeton, Princeton University Press.
Cohen, H. F. (1994), *The Scientific Revolution: A Historiographical Inquiry,* Chicago, University of Chicago Press. [Hay edición en español: *Revolución en la ciencia,* Barcelona, Gedisa, 2009.]
Cohen, I. B. (1980), *The Newtonian Revolution,* Cambridge, Cambridge University Press.
Copérnico, N. (1543/1952), *On the Revolution of the Heavenly Spheres,* trad. de C.

G. Wallis, Chicago, Encyclopaedia Britannica. [Hay edición en español: *Sobre las revoluciones (de las orbes celestes),* Madrid, Tecnos, 2009.]
Copleston, F. C. (1950), *A History of Philosophy,* 8. vols., Nueva York, Doubleday.
———— (1955), *Aquinas,* Harmondworth, Penguin Books.
———— (1991), "Ayer and world views", en A. Phillips Griffiths (coord.), *A. J. Ayer: Memorial Essays,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 63-75.
Cornwell, J. (2003), *Hitler's Scientists: Science, War and the Devil's Pact,* Londres, Penguin.
Crombie, A. C. (1994), *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition,* 3 vols., Londres, Duckworth. [Hay edición en español: *Estilos del pensamiento científico a comienzos de la Europa moderna,* Valencia, Seminario de Estudios sobre Ciencia, 1993.]
De Wulf, M. (1903/1956), *An Introduction to Scholastic Philosophy: Medieval and Modern* (trad. de P. Coffrey), Nueva York, Dover.
Dennett, D. C. (1995), *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life,* Londres, Allen Lane, Penguin. [Hay edición en español: *La peligrosa idea de Darwin,* Barcelona, Galaxia Gutenberg, 2015.]
Devitt, M. (1998), "Naturalism and the a priori", *Philosophical Studies,* vol. 92, núms. 1-2, pp. 45-65.
Dijksterhuis, E. J. (1961/1986), *The Mechanization of the World Picture,* Princeton, Princeton University Press.
Dillenberg, J. (1961), *Protestant Thought & Natural Science: A Historical Study,* Londres, Collins.
Dilworth, C. (1996/2006), *The Metaphysics of Science. An Account of Modern Sicence in Terms of Principles, Laws and Theories,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers (2ª ed., 2006).
Edis, T., y S. BouJaoude (2014), "Rejecting materialism: Responses to modern science in the muslim Middle East", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Srpinger, pp. 1663-1691.
———— (2007), *An Illusion of Harmony: Science and Religion in Islam,* Amherst, Prometheus Books.
Egner, R. E., y L. E. Denonn (coords.) (1961), *The Basic Writings of Bertrand Russell,* Londres, George Allen & Unwin.
Einstein, A. (1949), "Remarks to the essays appearing in this collective volumen", en P. A. Schilpp (coord.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist,* Nueva York, Tudor Publishing Company, pp. 663-688.
Elliot, T. (2013), "Witch-hunt", *Sydney Morning Herald,* 20 de abril, pp. 16-21.

Ernst, H. E. (2006), “New horizons in catholic philosophical tehology: *Fides et ratio* and the changed status of thomism”, *The Heythrop Journal,* vol. 47, núm. 1, pp. 26-37.

Farrington, B. (1939), *Science and Politics in the Ancient World,* Londres, George Allen & Unwin. [Hay edición en español: *Ciencia y política en el mundo antiguo,* Madrid, Ciencia Nueva, 1968.]

Fishman, Y. I. (2009), “Can science test supernatural worldviews?, *Science & Education,* vol. 18, núms. 6-7, pp. 813-837.

Fishman, Y. I., y M. Boudry (2013), “Does science presuppose naturalism (or, indeed, anything at all)?”, *Science & Education,* vol. 22, núm. 5, pp. 921-949.

French, P. A., T. E. Uehling y H. K. Wettstein (coords.) (1995), *Philosophical Naturalism,* Notre Dame, University of Notre Dame.

Galilei, Galileo (1632/1953), *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems,* trad. de S. Drake, Berkeley, University of California Press (2ª ed. revisada, 1967). [Hay edición en español: *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano,* Madrid, Alianza, 2011.]

Gauch Jr., H. G. (2009), “Science, worldviews and education”, *Science & Education,* vol. 18, núms. 6-7, pp. 667-695.

Gill, H. V. (1944), *Fact and Fiction in Modern Science,* Dublín, M. H. Gill.

Gingerich, O. (coord.) (1975), *The Nature of Scientific Discovery: A Symposium Commemorating the 500th Anniversary of the Birth of Nicolaus Copernicus,* Washington, D. C., Smithsonian Institution Press.

———— (1993), *The Eye of Heaven: Ptolemy, Copernicus, Kepler,* Nueva York, American Institute of Physics.

Gould, S. J. (1999), *Rock of Ages: Science and Religion in the Fullness of Life,* Nueva York, Ballantine Books. [Hay edición en español: *Ciencia versus religión: Un falso conflicto,* Madrid, Crítica, 2007.]

Graham, I. R. (1973), *Science and Philosophy in the Soviet Union,* Nueva York, Alfred A. Knopf. [Hay edición en español: *Ciencia y filosofía en la Unión Soviética,* México, Siglo Veintiuno, 1976.]

Grant, E. (2004), *Science and Religion, 400 B.C. to A.D. 1550. From Aristotle to Copernicus,* Baltimore, Johns Hopkins University Press.

Greene, J. C. (1981), *Science, Ideology and Worldview: Essays in the History of Evolutionary Ideas,* Berkeley, University of California Press.

Guo, Y. (2014), “The philosophy of science and technology in China: Political and ideological influences”, *Science & Education,* vol. 23, núm. 9.

Haught, J. F. (1995), *Science and Religion: From Conflict to Conversation,* Nueva York, Paulist Press.

Hoodhhoy, P. (1991), *Islam and Science: Religious Orthodoxy and the Battle for Rationality,* Londres, Zed Books. [Hay edición en español: *El islam y la ciencia: Razón científica y ortodoxia religiosa,* Barcelona, Bellaterra, 1998.]

Horton, R. (1971), "African traditional thought and Western science", en M. F. D. Young (coord.), *Knowledge and Control,* Londres, Collier-Macmillan, pp. 208-266.

Israel, J. (2001), *Radical Enlightenment: Philosophy and the Making of Modernity 1650-1750,* Oxford, Oxford University Press.

Jaki, S. L. (1978), *The Road to Science and the Ways to God,* Chicago, University of Chicago Press.

Jegede, O. J. (1989), "Toward a philosophical basis for science education of the 1990s: An African view-point", en D. F. Herget (coord.), *The History and Philosophy of Science in Science Teaching,* Tallahassee, Florida State University, pp. 185-198.

Jegede, O. J. (1997), "School science and the development of scientific culture: A review of contemporary science education in Africa", *International Journal of Science Education,* vol. 19, núm. 1, pp. 1-20.

Lamont, J. (2009), "The fall and rise of aristotelian metaphysics in the philosophy of science", *Science & Education,* vol. 18, núms. 6-7, pp. 861-884.

Larson, E. J. (1997), *Summer for the Gods. The Scopes Trial and America's Continuing Debate over Science and Religion,* Nueva York, Basic Books.

Lawson, A. E., y W. A. Worsnop (1992), "Learning about evolution and rejecting a belief in special creation: Effects of reflective reasoning skills, prior knowledge, prior belief and religious commitment", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 29, núm. 2, pp. 143-166.

Lindberg, D. C., y R. L. Numbers (coords.) (1986), *God and Nature: Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science,* Berkeley, University of California Press.

Mahner, M. (2012), "The role of metaphysical naturalism in science", *Science & Education,* vol. 21, núm. 10, pp. 1437-1459.

———— (2014), "Science, religion, and naturalism: Metaphysical and methodological incompatibilities", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1793-1835.

Martel, E. (1991), "How valid are the Portland baseline essays?", *Educational Leadership,* diciembre-enero, pp. 20-23.

Martin, R. N. D. (1991), *Pierre Duhem: Philosophy and History in the Work of a Believing Physicist,* LaSalle, Open Court.

Martin-Hansen, L. M. (2008), “First-year college students’ conflict with religion and science”, *Science & Education,* vol. 17, núm. 4, pp. 317-357.
Mascall, E. L. (1956), *Christian Theology and Natural Science: Some Questions in Their Relations,* Londres, Longmans, Green.
Matthews, M. R. (coord.) (1989), *The Scientific Background to Modern Philosophy,* Indianápolis, Hackett.
———— (2009a), “Teaching the philosophical and worldview components of science”, *Science & Education,* vol. 18, núms. 6-7, pp. 697-728.
———— (2009b), *Science, Worldviews and Education,* Dordrecht, Springer.
McKenzie, J. L. (1966), *Dictionary of the Bible,* Londres, Geoffrey Chapman.
McMullin, E. (coord.) (1967), *Galileo Man of Science,* Nueva York, Basic Books.
———— (1985), “Introduction: Evolution and creation”, en E. McMullin (coord.), *The Church and Galileo,* Norte Dame, University of Notre Dame Press, pp. 1-58.
———— (2005), “Galileo’s theological venture”, en E. McMullin (coord.), *The Church and Galileo,* Norte Dame, University of Notre Dame Press, pp. 99-116.
Montalenti, G. (1974), “From Aristotle to Democritus via Darwin: A short survey of a long historical and logical journey”, en F. J. Ayala y T. Dobzhansky (coords.), *Studies in the Philosophy of Biology: Reduction and Related Problems,* Berkeley, University of California Press, pp. 4-19.
Mott, N. (coord.) (1991), *Can Scientists Believe?,* Londres, James & James.
Nagel, E. (1956), “Naturalism reconsidered”, en *Logic Without Metaphysics,* Glencoe, Freepress, capítulo 1. [Hay edición en español: *Lógica sin metafísica,* Madrid, Tecnos, 1974.]
Nanda, M. (2003), *Prophets Facing Backward. Postmoderns Critiques of Science and Hindu Nationalism in India,* New Brunswick, Rutgers University Press.
Narokobi, B. (coord.) (1977), “Occasional paper no. 4 sorcery”, Port Moresby, Comisión Legislativa de Papúa Nueva Guinea.
NAS (National Academy of Science) (1998), *Teaching About Evolution and the Nature of Science,* Washington, D. C., National Academy Press.
Nasr, S. H. (1996), *Religion and the Order of Nature,* Oxford, Oxford University Press.
Newton, I. (1713/1934), *Principia mathematica,* 2ª ed, traducción de Florian Cajori, Berkeley, University of California Press (1ª ed., 1687). [Hay edición en español: *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo,* ed. de Antonio Escohotado, Madrid, Editora Nacional, 1982.]
Noonan, J. T. (1965), *Contraception: A History of Its Treatment by Catholic Theologians and Canonists,* Nueva York, Mentor-Omega Books.

Ogunniy, M. B. (1988), “Adapting Western science to traditional African culture”, *International Journal of Science Education,* vol. 10, núm. 1, pp. 1-9.

Pennock, R. T. (1999), *Tower of Babel: The Evidence Against the New Creationism,* Cambridge, MIT Press.

Plantinga, A. (2011), *Where the Conflict Really Lies. Science, Religion and Naturalism,* Nueva York, Oxford University Press.

Polkinghorne, J. (1996), *The Faith of a Physicist: Reflections of a Bottom-Up Thinker,* Mineápolis, Fortress Press. [Hay edición en español: *La fe de un físico. Reflexiones teológicas de un pensador ascendente,* Estella, Verbo Divino, 2007.]

Polkinghorne, J. C. (1986), *One World: The Interaction of Science and Theology,* Londres, SPCK.

———— (1991), *Reason and Reality: The Relationship between Science and Theology,* Londres, SPCK.

Popper, K. R. (1963), *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge,* Londres, Routledge y Kegan Paul. [Hay edición en español: *Conjeturas y refutaciones. El desarrollo del pensamiento científico,* Barcelona, Paidós, 1983.]

Porter, R. (2000), *The Enlightenment: Britain and the Creation of the Modern World,* Londres, Penguin Books.

Randall Jr., J. H. (1962), *The Career of Philosophy,* Nueva York, Columbia University Press.

Redondi, P. (1988), *Galileo Heretic,* Londres, Allen Lane.

Reiss, M. (2014), “What significance does christianity have for science education?”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1637-1662.

Rohrlich, F. (1987), *From Paradox to Reality: Our Basic Concepts of the Physical World,* Cambridge, Cambridge University Press.

Rosenberg, A. (2011), *The Atheist’s Guide to Reality: Enjoying Life without Illusions,* Nueva York, W. W. Norton.

Ruse, M. (1989), *The Darwinian Paradigm. Essays on Its History, Philosophy, and Religious Implications,* Londres, Routledge.

Russell, B. (1958), “Letter to Mr. Major”, en *Dear Bertrand Russell: A Selection of His Correspondence with the General Public, 1950-1968,* Londres, Allen & Unwin, 1969.

Rutt, J. T. (coord.) (1817-1832/1972), *The Theological and Miscellaneous Works of Joseph Priestley,* 25 vols., Londres, J. Johnson (reimpreso en Nueva York por Kraus, 1972).

Sagan, C. (1997), *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark,*

Londres, Headline Book. [Hay edición en español: *El mundo y sus demonios: La ciencia como una luz en la oscuridad,* Madrid, Planeta, 2005.]

Sakharov, A. D. (1968), *Progress, Coexistence and Intelectual Freedom,* Nueva York, W. W. Norton.

Schmitt, C. B. (1983), *Aristotle and the Reinassance,* Cambridge, Harvard University Press. [Hay edición en español: *Aristóteles y el Renacimiento,* León, Universidad de León, 2005.]

Schulz, R. M. (2009), "Reforming science education: Part I. The search for a philosophy of science education", *Science & Education,* vol. 18, núms. 3-4, pp. 225-249.

——— (2014), "Philosophy of education and science education: A vital but underdeveloped relationship", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1259-1315.

Selin, H. (coord.) (1997), *Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Culture,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Sellars, R. W. (1932), *The Philosophy of Physical Realism,* Nueva York, Macmillan.

Shank, J. B. (2008), *The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment,* Chicago, University of Chicago Press.

Sinatra, G. M., y L. Nadelson (2011), "Science and religion: Ontologically different epistemologies", en R. S. Taylor y M. Ferrari (coords.), *Epistemology and Science Education: Understanding the Evolution vs. Intelligent Design Controversy,* Nueva York, Routledge, pp. 173-193.

Slezak, P. (2012), "Review of Michael Ruse science and spirituality: Making room for faith in the age of science", *Science & Education,* vol. 21, pp. 403-413.

Smith, M. U., y H. Siegel (2004), "Knowing, believing and understanding: What goals for science education?", *Science & Education,* vol. 13, pp. 553-582.

Sorell, T. (1991), *Scientism: Philosophy and the Infatuation with Science,* Londres, Routledge.

Steinberg, S. R., y J. Kincheloe (2012), "Employing the bricolage as critical research in science education", en B. Fraser, K. Tobin y C. McRobbie (coords.), *International Handbook of Science Education,* 2ª ed., Dordrecht, Springer, pp. 1485-1500.

Stenger, V. J. (2007), *God: The Failed Hypothesis: How Science Shows that God Does Not Exist,* Amherst, Prometheus Books.

Suchting, W. A. (1994), "Notes on the cultural significance of the sciences", *Science & Education,* vol. 3, núm. 1, pp. 1-56.

Taber, K. S., B. Billingsley, F. Riga y H. Newdick (2011), "Secondary student's

responses to perceptions of the relationship between science and religion: Stances identified from an interview study", *Science Education,* vol. 95, núm. 6, pp. 1000-1025.
Tozer, S., T. H. Anderson y B. B. Armbruster (coords.) (1990), *Foundational Studies in Teacher Education: A Reexamination,* Nueva York, Teachers College.
Van Eijck, M., y W.-M. Roth (2007), "Keeping the local local: Recalibrating the status of science and traditional ecological knowledge (TEK) in education", *Science Education,* vol. 91, pp. 926-947.
Vitzhum, R. C. (1995), *Materialism: An Affirmative History and Definition,* Amherst, Prometheus.
Von Hayek, F. (1952), *The Counter-Revolution of Science,* Glencoe, Free Press. [Hay edición en español: *La contrarrevolución de la ciencia. Estudios sobre el abuso de la razón,* Madrid, Unión Editorial, 2003.]
Wagner, S., y R. Warner (coords.) (1993), *Naturalism: A Critical Appraisal,* Notre Dame, University of Notre Dame Press.
Weisheipl, J. A. (1968), "The revival of thomism as a christian philosophy", en R. M. McInerny (coord.), *New Themes in Christian Philosophy,* South Bend, University of Notre Dame Press, pp. 164-185.
Westfall, R. S. (1971), *The Construction of Modern Science: Mechanisms and Mechanics,* Cambridge, Cambridge University Press.
———— (1973), *Science and Religion in Seventeenth-Century England,* Ann Arbor, University of Michigan Press.
Yasri, P., S. Arthur, M. U. Smith y R. Mancy (2013), "Relating science and religion: An ontology of taxonomies and development of a research tool for identifying individual views", *Science & Education,* vol. 22, núm. 10, pp. 2679-2707.

XI. LA NATURALEZA DE LA CIENCIA Y LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA[1]

En educación hay una vieja tradición que defiende los beneficios culturales, educativos, personales y científicos de inyectar historia y filosofía de la ciencia en las clases de ciencia, en los planes de estudio y en la formación de maestros, o, en términos modernos, de incluir la naturaleza de la ciencia en las aulas, los planes de estudio y los programas para maestros. Ésta, que puede ser llamada la tradición normativa de la naturaleza de la ciencia, sostiene que los alumnos que aprenden ciencia también deberían aprender sobre la ciencia, en particular, sus características filosóficas o metodológicas distintivas, para satisfacer una diversidad de propósitos personales, culturales y educativos. Como se mostró en el capítulo VII, puede considerarse a Joseph Priestley el fundador de esta tradición en el siglo XVIII, pues escribió los primeros libros sobre la historia de la electricidad y de la óptica para que los filósofos naturales pudieran aprender de los éxitos y los fracasos de quienes los antecedieron. En el siglo XIX, los personajes centrales de esta tradición fueron William Whewell (Whewell, 1855), Thomas Huxley (Huxley, 1868/1964) y Ernst Mach (Mach, 1886/1986). Durante las primeras décadas del siglo XX, John Dewey (Dewey, 1910) en Estados Unidos y Frederick Westaway (Westaway, 1929) y Eric Holmyard (Holmyard, 1924) en Gran Bretaña fueron los personajes centrales. En América del Norte, Joseph Schwab (Schwab, 1949) le dio continuidad a la tradición en la década de 1940; en la de 1960, lo hicieron Leo Klopfer (Klopfer, 1969) y James Robinson (Robinson, 1968), y en la de 1970, Jim Rutherford (Rutherford, 1972, 2001), Gerald Holton (Holton, 1975, 1978), Robert Cohen (Cohen, 1975) y Michael Martin (Martin, 1972, 1974).

Durante las tres últimas décadas, muchos pedagogos de la ciencia han prolongado esta tradición normativa. Tal vez los más conocidos son Derek Hodson (1986, 1988, 2008, 2009, 2014), Richard Duschl (1985, 1990, 2004) y Mansoor Niaz (2009, 2010), aunque hay muchos otros.[2] Como se esbozó en el prefacio de este libro, el grupo IHPST ha contribuido mucho a la tradición mediante las conferencias bianuales que organiza desde 1989 y su revista asociada, *Science & Education.* Desde sus comienzos en 1992, esta revista ha publicado más de 800 artículos de investigación sobre historia, filosofía y enseñanza de la ciencia, y se han presentado cientos de artículos a las conferencias internacionales y regionales de la IHPST.

Además del trabajo normativo y de apoyo, recientemente se ha verificado un incremento constante en la investigación *empírica* en la naturaleza de la ciencia, que se ha concentrado menos en las razones por las cuales los alumnos deberían aprender naturaleza de la ciencia y más en cómo aprenden y si de hecho han aprendido la materia.

Esta tradición empírica ha estudiado preguntas como éstas: ¿La naturaleza de la ciencia puede enseñarse efectivamente en la escuela primaria? ¿Cuál es la mejor forma de aprender naturaleza de la ciencia? ¿La enseñanza explícita e implícita de la naturaleza de la ciencia produce resultados diferentes? ¿Qué ideas sobre la naturaleza de la ciencia albergan los científicos, los maestros y los historiadores y filósofos representativos? ¿Qué beneficios a "largo plazo" y qué resultados transferibles puede otorgar el aprendizaje de la naturaleza de la ciencia? ¿Cómo pueden desarrollarse pruebas válidas, confiables y eficientes de la naturaleza de la ciencia?, etc.[3] Han tenido un impacto particular los trabajos de Norman Lederman (2004, 2007, Lederman *et al.,* 2014), Fouad Abd-el-Khalick (2005), William McComas (1998a, 2014), Keith Taber (2009, 2014) y sus equipos de investigación.

Como es de esperarse, desde el principio ha existido ambigüedad, y en ocasiones tensiones, sobre cuánto extender la red de la naturaleza de la ciencia con propósitos educativos. En principio, la naturaleza de la ciencia se identificaba con la filosofía de la ciencia. Los investigadores se concentraban en la epistemología, la metodología, la ontología y la ética de la ciencia, en descubrir qué vínculos existían entre la evidencia y la validación de teorías, qué determinaba la elección de teorías, cuáles eran las características de un experimento admisible, etc. La idea era que este conjunto constituía los rasgos distintivos, definitorios de la ciencia. La red de la naturaleza de la ciencia se ha ampliado para incluir la historia de la ciencia, así como la filosofía de la ciencia, con el argumento de que la última requiere la presencia de la primera, y que para aprender sobre ciencia es indispensable saber algo sobre su historia y sobre los procesos reales de descubrimiento científico y de aceptación de teorías: "La filosofía de la ciencia sin historia está vacía; la historia de la ciencia sin filosofía de la ciencia está ciega" (Lakatos, 1978, p. 102). La red de la naturaleza de la ciencia se amplió aún más, con un interés renovado en la sociología de la ciencia de gran escala (la industria) y de pequeña escala (el laboratorio) para incluir la sociología y luego la psicología de la ciencia. En este momento, la naturaleza de la ciencia se convirtió, básicamente, en "estudios de la ciencia", y dejó de concederse un estatus central a la filosofía y la epistemología.[4] Tanto la tradición normativa de la naturaleza de la ciencia como la empírica se adaptarán a la definición de naturaleza de la ciencia —más estrecha o más relajada— que se adopte.

La ciencia es una actividad humana y, por lo tanto, inserta en un contexto histórico, que busca la verdad y que posee diversas características cognitivas, sociales, comerciales, culturales, políticas, estructurales, financieras, psicológicas, etc. Vale la pena que tanto los alumnos de ciencia como los especialistas de diversas disciplinas estudien todos estos rasgos; algunos tendrán más relevancia en el contexto de una u otra ciencia y de diversos aspectos de su historia, sus logros y sus prácticas. Algunos de estos rasgos se comparten en gran medida con otras actividades para la adquisición de conocimiento, otras en

menor grado, y otras no se comparten en lo absoluto. Dado que existen estas características de la ciencia, resulta útil entender la naturaleza de la ciencia no como una lista de condiciones necesarias y suficientes para que una práctica sea científica, sino como una serie de rasgos que, en palabras de Wittgenstein, tengan un "aire de familia" que garantiza que distintas actividades sean llamadas científicas. Para ponerle límites a la caracterización, la búsqueda de la verdad debe seguir considerándose un objetivo definitorio de la ciencia; que la ciencia sea exitosa, y qué significa exactamente "verdad", son temas secundarios.[5]

Este capítulo recomienda un cambio terminológico y de enfoque de investigación, de una naturaleza de la ciencia esencialista y concentrada en la epistemología a unas "características de la ciencia" (CDC) más relajadas, contextuales y heterogéneas. Este cambio de terminología y de enfoque evita caer en las siguientes trampas filosóficas y educativas, que se han asociado con buena parte de la investigación reciente sobre naturaleza de la ciencia:

1) La aglomeración desordenada de rasgos epistemológicos, sociológicos, psicológicos, éticos, comerciales y filosóficos en una misma lista de naturaleza de la ciencia;
2) discusiones sobre cuántos puntos deben incluirse en una lista de naturaleza de la ciencia: siete para el grupo de Lederman, diez para el de McComas, cantidades distintas para otros grupos;
3) el trato preferente a uno de los lados en los polémicos y muy debatidos argumentos sobre la metodología de la "naturaleza" de la ciencia;
4) la adopción de soluciones particulares al problema de la demarcación;
5) la aceptación de que el aprendizaje de la naturaleza de la ciencia puede juzgarse y evaluarse a partir de la capacidad de los alumnos para identificar una cantidad determinada de afirmaciones declarativas sobre la naturaleza de la ciencia.

En 1854, William Whewell (1784-1866), ese formidable científico, filósofo, historiador, teólogo y moralista, dictó en Leeds, ante la Royal Institution de Gran Bretaña, una conferencia titulada "On the influence of the history of science upon intelectual education" [Sobre la influencia de la historia de la ciencia sobre la educación intelectual] (Whewell, 1855). Preparó el terreno para presentar su argumento con estas palabras:

> Del mismo modo que las mejores ciencias que vio nacer el mundo antiguo ofrecieron los mejores elementos para la educación intelectual hasta tiempos modernos, así el gran paso mediante el cual, en la era actual, la ciencia se ha impulsado hasta una magnitud y un esplendor muy superior a sus antiguas dimensiones debería ejercer su influencia sobre la educación moderna, y contribuir con sus resultados a la cultura intelectual moderna [Whewell, 1855, p. 242].

En la conferencia, ofreció este argumento apasionado para incluir la naturaleza de la ciencia (como se llama en la actualidad) en toda educación liberal:

> En la Historia de la Ciencia vemos la variedad infinita de la naturaleza; de la naturaleza mental, no menos que la corporal; del mundo intelectual así como del sensible […] La historia de la ciencia […] puede y, cuidadosamente estudiado, debe hacer mucho por promover la correcta aprehensión y apreciación del descubrimiento inductivo; y el descubrimiento inductivo, ahora que el proceso ha estado ocurriendo con inmenso vigor en las naciones de Europa durante los últimos 300 años, debería, nos aventuramos a afirmar, formar una parte distintiva e importante de la educación intelectual de los jóvenes de estas naciones [Whewell, 1855, pp. 248-249].

Whewell pensaba que la historia de la ciencia era indispensable para comprender la "cultura intelectual" en forma más plena, es decir, en los procesos de creación de conocimiento o epistemología. Más de 100 años antes de que Karl Popper, Imre Lakatos y Thomas Kuhn popularizaran la idea, Whewell argumentó que la filosofía de la ciencia debía tener bases en la historia de la ciencia. Vale la pena dirigir la atención a esta idea de Whewell, puesto que en la enseñanza de la ciencia buena parte de la discusión sobre la naturaleza de la ciencia la contradice de manera flagrante. La naturaleza de la ciencia suele enseñarse sin hacer referencia a su historia, y no se basa en ella. Por desgracia, muchos de los maestros que desean transmitir algo sobre la naturaleza de la ciencia lo hacen pidiendo a los alumnos que "reflexionen", "hagan una lluvia de ideas" o "discutan" únicamente sus actividades o investigaciones en el aula. Esto tiene un valor más bien limitado, pues cualquier lección que se aprenda así dependerá de que de la ciencia del aula se extrapole a la ciencia "a gran escala", histórica y socialmente integrada. Se requiere precaución y algunas advertencias antes de hacer estas extrapolaciones, pues sin un poco de humildad este ejercicio puede cultivar actitudes arrogantes y narcisistas: "Puedo decirte qué es la ciencia y cuáles son sus objetivos, sus métodos y sus valores

con sólo reflexionar sobre lo que hago en el salón de clases".

Whewell expresó dos inquietudes que han ocupado buena parte de la investigación contemporánea sobre naturaleza de la ciencia cuando preguntó: "¿Cómo puede lograrse esta cultura? Y además, ¿cómo podemos juzgar cuándo esto ha sucedido?" (Whewell, 1855, p. 249).

Whewell preguntaba, en términos contemporáneos, cuál es la mejor manera de enseñar naturaleza de la ciencia, y cuál la mejor para evaluar su aprendizaje. Los pedagogos y los investigadores siguen preguntándose y respondiendo estas mismas preguntas.

Como se mencionó antes, la investigación contemporánea en la naturaleza de la ciencia es o normativa o empírica, y por supuesto existen algunos traslapes, ya que la gente no suele investigar sobre temas que no le parecen importantes. El desafío básico para la investigación normativa de la naturaleza de la ciencia es que debe conocer bien los estudios históricos y filosóficos de la ciencia. Este desafío se ha cumplido más o menos bien, según la formación personal de los investigadores y la medida en la que comprenden los distintos campos. Por lo general, los pedagogos de la ciencia han adoptado una perspectiva de la naturaleza de la ciencia amplia, relajada y no examinada en exceso; la tendencia ha sido la de "seguir los pasos de la historia y filosofía de la ciencia" o, por ser menos benévolos, la de adoptar la postura de la historia y filosofía de la ciencia que esté de moda en el momento: empirismo lógico en la década de 1960 (Matthews, 1997), kuhnianismo en las de 1970 y 1980 (Matthews, 2004) y constructivismo en las de 1980 y 1990 (Matthews, 2006).[6] Últimamente muchos pedagogos están adoptando diversas versiones posmodernas y socioculturales de la historia y filosofía de la ciencia, como revela este párrafo:

> Los trabajos recientes en estudios de la ciencia le han abierto la puerta a discursos sobre la enseñanza de la ciencia más reflexivos, que toman en cuenta perspectivas y prácticas críticas, históricas, políticas y socioculturales del conocimiento científico […] Que se conceda mayor atención a la naturaleza problemática de las afirmaciones tradicionales de la ciencia occidental, las de poseer objetividad y verdades universales, ha creado un espacio educativo en donde los significados que suelen darse por sentado se desafían, enriquecen y rechazan cada vez más […] Así, la largamente aceptada superioridad epistemológica que se arroga la ciencia está sujeta a las consideraciones de códigos culturales, intereses sociales e imperativos económicos [Bazzul y Sykes, 2011, p. 268].

Puesto que es raro encontrar una capacitación adecuada en historia o filosofía de la ciencia en la comunidad de enseñanza de la ciencia, muchas de las afirmaciones que se publican sobre la naturaleza de la ciencia, como las de la cita anterior, son falsas, están mal informadas o son mitos.[7] Por supuesto, cuando la naturaleza de la ciencia se incluye en el programa de formación de maestros, esto tiene consecuencias para ellos mismos y para la enseñanza en el aula, y existe un efecto de derrama en la enseñanza en el aula cuando los maestros tratan de promover el conocimiento de la naturaleza de la ciencia en la escuela. Considérese esta confiada declaración, publicada en un artículo reciente:

> Las personas que tienen las creencias epistemológicas más sofisticadas sobre ciencia rechazan la verdad objetiva, reconocen múltiples realidades y consideran que el conocimiento científico es un invento humano. Estas perspectivas epistemológicas sofisticadas se fomentan en los documentos de la reforma educativa de Estados Unidos, como objetivos de aprendizaje y en forma de enfoques pedagógicos [Kang, 2008, p. 480].

Puede comprobarse que una de las tres afirmaciones que se hacen sobre la naturaleza

de la ciencia, aquella de que "el conocimiento científico es un invento humano", es cierta pero raya en lo tautológico (¿podría ser un invento arbóreo?, ¿un invento reptiliano?). Las otras dos afirmaciones son sencillamente falsas, o en todo caso muy discutidas, y sin embargo se les llama "sofisticadas". Este patrón, que consiste en declarar que las afirmaciones falsas o muy polémicas sobre la naturaleza de la ciencia son "sofisticadas", se encuentra muy extendido. Considérese lo que sigue:

> La forma constructivista de aprender puede estar asociada con maestros que poseen epistemologías sofisticadas; una orientación hacia las nociones tradicionales-transmisivas puede reflejar el hecho de que los maestros conservan epistemologías ingenuas asociadas con una autoridad omnisciente y un conocimiento incuestionable [Chan y Elliot, 2004, p. 819].

Estos errores permean la investigación empírica, en donde algunas pruebas de naturaleza de la ciencia se diseñan de modo que el realismo se considere la postura "inmadura" y sirva para indicar que existe una comprensión inadecuada de la naturaleza de la ciencia y que es necesario que el maestro "intente nuevamente" que sus alumnos crean en la postura más "sofisticada" (Matthews, 1998). Resulta evidente que la postura sobre la naturaleza de la ciencia que adopten los investigadores influye en la validez de los instrumentos de prueba y en las validaciones adecuadas sobre el aprendizaje de la naturaleza de la ciencia.[8]

Un grupo influyente en la investigación actual sobre la naturaleza de la ciencia es el que está asociado con Norman Lederman.[9] La definición que hace el grupo de la naturaleza de la ciencia es típicamente católica: "La naturaleza de la ciencia se refiere, tradicionalmente, a la epistemología y la sociología de la ciencia, a la ciencia como una forma de obtener conocimiento, o a los valores y las creencias inherentes al conocimiento científico y a su desarrollo" (Lederman *et al.,* 2002, p. 498). Hay que destacar que en esta definición tanto los aspectos epistemológicos como los sociológicos de la ciencia se meten bajo el mismo paraguas de la naturaleza de la ciencia. Y vaya paraguas que se necesita. La sociología de la ciencia incluye política, comercio, estructuras profesionales, empleo y cualquier otra cosa que consideren importante quienes estudian cómo funciona la ciencia. Esta acrobacia es una de las razones importantes, que se presenta con más detalle a continuación, para abandonar la "naturaleza de la ciencia" a favor de las "características de la ciencia". Restringir la naturaleza de la ciencia a las características epistemológicas o metodológicas de la ciencia implica problemas para identificar la "naturaleza" esencial, central, de la ciencia; una vez que se le permite la entrada a la sociología, y luego a la psicología de la ciencia, debe renunciarse a cualquier intento por delimitar todo lo que tenga que ver con "naturalezas".

El grupo de Lederman sostiene que "actualmente no existe ningún consenso entre los filósofos de la ciencia, los historiadores de la ciencia, los científicos y los pedagogos de la

ciencia sobre una definición específica de naturaleza de la ciencia" (Lederman, 2004, p. 303). Si bien reconoce que no existe un consenso generalizado sobre la naturaleza de la ciencia, el grupo afirma que, por el contrario, existe suficiente consenso sobre asuntos centrales de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia en los niveles de educación básica. El grupo ha elaborado y defendido siete elementos de la naturaleza de la ciencia que creen que satisfacen los criterios de:

1) Ser accesibles para los alumnos;
2) contar con suficientes consensos de los historiadores y los filósofos, y
3) resultar útiles para los ciudadanos.

Estos siete elementos son los siguientes:[10]

1) *La naturaleza empírica de la ciencia,* que reconoce que, si bien la ciencia es empírica, los científicos no tienen un acceso directo a la mayor parte de los fenómenos naturales. Se afirma que:

> Los alumnos deben ser capaces de distinguir entre observación e inferencia […] Comprender la distinción crucial entre observación e inferencia es un precursor de la capacidad de comprender una multitud de entidades inferenciales y teóricas y de términos que habitan los mundos de la ciencia [Lederman *et al.,* 2002, p. 500].

2) *Las teorías científicas son diferentes de las leyes científicas,* donde sostienen que:

> Las leyes son declaraciones descriptivas sobre relaciones entre fenómenos observables […] Por el contrario, las teorías son explicaciones inferidas para los fenómenos o regularidades que se observan en esos fenómenos […] Las teorías y las leyes son distintos tipos de conocimiento, y uno no se convierte en el otro [Lederman *et al.,* 2002, p. 500].

3) *La naturaleza creativa e imaginativa del conocimiento científico,* donde sostienen que:

> La ciencia es empírica […] Sin embargo, producir conocimiento científico también involucra la imaginación y la creatividad humanas. La ciencia […] no es una actividad inerte y perfectamente racional y ordenada […] La actividad científica, tal como los átomos y las especies, son modelos teóricos funcionales y no copias de la realidad [Lederman *et al.,* 2002, p. 500].

4) *La naturaleza del conocimiento científico cargada hacia el lado de la teoría,* donde se sostiene que:

> Los compromisos teóricos y disciplinarios de los científicos, previos al conocimiento, la formación, las experiencias y las expectativas influyen en su trabajo. Todos estos factores contextuales forman una

mentalidad que afecta los problemas que investigan los científicos y la forma en la que llevan a cabo sus investigaciones [Lederman *et al.,* 2002, p. 501].

5) *La inclusión del conocimiento científico en el contexto social y cultural,* en el que se sostiene que:

La ciencia como actividad humana se lleva a cabo en el contexto de una cultura más amplia, y quienes la practican son producto de esa cultura. De aquí se desprende que la ciencia afecta y es afectada por los diversos elementos y ámbitos intelectuales de la cultura en la que está inserta.

6) *El mito del método científico,* donde se afirma que:

No existe un solo método que garantice obtener un conocimiento infalible […] ni una sola secuencia de actividades […] que conduzca sin falta [a los científicos] hacia una solución o una respuesta válida o funcional [Lederman *et al.,* 2002, p. 501].

7) *La naturaleza provisional del conocimiento científico,* donde se mantiene que:

Si bien el conocimiento científico es confiable y duradero, nunca puede ser absoluto o seguro. Este conocimiento, que incluye los hechos, las teorías y las leyes, es susceptible al cambio [Lederman *et al.,* 2002, p. 502].

Esta lista se ha vuelto muy popular en la enseñanza de la ciencia como una herramienta para verificar que se cumplan los objetivos de la naturaleza de la ciencia, y en ella se basa la enormemente popular serie de pruebas Views of Nature of Sciences (VNOS), que se usan en cientos de artículos de investigación publicados para medir la efectividad de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (Lederman *et al.,* 2014) y los grados de comprensión de la naturaleza de la ciencia.[11] El lado positivo de esta lista es que coloca la naturaleza de la ciencia en las aulas, proporciona a los investigadores un instrumento de medición del aprendizaje de la naturaleza de la ciencia y puede darles a los maestros y a los alumnos algunos temas de naturaleza de la ciencia para reflexionar y para conocer más sobre ella. El lado negativo de la lista es que, a pesar de los deseos de sus creadores, puede servir como un mantra, un catecismo, una cosa más que aprender. En vez de que los maestros y los alumnos lean, analicen y lleguen a sus propias conclusiones sobre la naturaleza de la ciencia, esta lista ofrece un atajo para el proceso, y al hacerlo traiciona los objetivos mismos de reflexión y pensamiento crítico que la mayor parte de las personas consideran la razón para tener naturaleza de la ciencia (o historia y filosofía de la ciencia) en el plan de estudios.

Las siete características de la ciencia, o elementos de la naturaleza de la ciencia, pueden refinarse y desarrollarse filosófica e históricamente para conseguir mejores resultados de la naturaleza de la ciencia para los maestros y los alumnos. No se trata únicamente de afirmar lo evidente: que si se exponen en unas pocas páginas siete asuntos de gran sutileza filosófica y con una larga historia de debates deberán desarrollarse más a profundidad. En cambio, se trata de la afirmación, más seria, de que en ciertos puntos cruciales existe una ambigüedad que mitiga la utilidad de los puntos de la lista como objetivos curriculares, criterios de evaluación y objetivos de los cursos de formación de maestros de ciencia.

Base empírica

Por ejemplo, considérese el primer elemento de la lista: la base empírica de la ciencia. Este tema se discutió parcialmente en el capítulo VI, cuando se desarrolló el significado de "observación". Sin embargo, hace falta profundizar más, puesto que la distinción que se hizo plantea interrogantes, primero sobre el estatus ontológico de las entidades teóricas en ciencia, y en segundo lugar sobre el papel de la abstracción y la idealización en ciencia.

En primer lugar, al discutir sobre la naturaleza empírica de la ciencia se sostiene que existe un acuerdo lo suficientemente amplio sobre "la existencia de una realidad objetiva, en comparación, por ejemplo, con la realidades fenoménicas" (Lederman, 2004, p. 303). Esto es muy cierto, pero el tema de discusión entre filósofos, y uno muy serio, no es sobre la existencia del mundo, sino sobre la existencia de las entidades explicativas que se proponen en las teorías científicas. Este debate, ininterrumpido desde tiempos de Aristóteles, ha tenido lugar entre realistas, por un lado, y empiristas, constructivistas e instrumentalistas, por el otro.

En el capítulo IX se ha hecho un esbozo de la historia y las dimensiones filosóficas del debate. Desde que Anaximandro postuló, hace 2 700 años, la existencia de esferas cristalinas que transportan con ellas los planetas, no es de la existencia del mundo de lo que se ha dudado: Bellarmine, Berkeley, Mach y Bohr no dudaban de la existencia de los objetos, sino de las entidades y mecanismos invisibles que proponía la ciencia del momento para explicar los comportamientos visibles, macro o fenoménicos de los objetos. Toda esta historia se elimina de un plumazo de la discusión de la enseñanza de la ciencia cuando el primer elemento de la lista de Lederman dice, llanamente, que "la ciencia tiene una base empírica". Bueno, sí, la tiene, pero el tema es mucho más complejo, y como ocurre con muchas cosas, el diablo está en los detalles. Puede argüirse

que los alumnos no pueden comprender los detalles, pero se trata de un asunto empírico; los maestros sin duda pueden y deben comprender los detalles, y las listas de naturaleza de la ciencia que verdaderamente son útiles los llevarán hacia estos detalles.

El grupo de Lederman está conformado por realistas que creen que existe el mundo, pero no está nada claro que crean en las entidades teóricas de la ciencia, que es el tema sobre el que ha girado el debate (constructivista) realista-instrumentalista. Los maestros no necesitan que los guíen sobre la existencia del mundo, sino sobre la existencia o no de las entidades que postulan las teorías científicas. Lederman pregunta: "¿puede decirse que un alumno realmente comprende el concepto de gen si no está consciente de que 'gen' es un constructo inventado para explicar los resultados experimentales?" (Lederman, 2004, p. 314). Y repite la pregunta de este modo: "¿El alumno que piensa que los genes tienen una existencia física análoga a las perlas de un collar posee una comprensión profunda del concepto?" (Lederman, 2004, p. 314) y: "¿El alumno que no está consciente de que el átomo (tal como se representa en su libro) es un modelo científico que se usa para explicar el comportamiento de la materia y de que no ha sido observado directamente tiene una comprensión profunda del átomo?" (Lederman, 2004, p. 314).

Con un poco de sensibilidad filosófica puede notarse que tras estas preguntas yace una ambigüedad seria y engañosa que se refiere a la existencia de genes y átomos. A primera vista, la pregunta parece sugerir una visión instrumentalista y no realista de estas entidades explicativas centrales; no parece existir "en principio" sino ser un mero "constructo" humano. ¿Qué pasa si el alumno piensa en los genes no como perlas en un collar sino como eslabones en un collar? ¿Es esto lo suficientemente sofisticado para obtener una calificación alta en la comprensión de la naturaleza de la ciencia? ¿Y si un alumno imagina los átomos no como se representan en los libros de texto sino como algún tipo de micropartícula?, ¿es suficiente para que alcance un nivel alto de comprensión de la naturaleza de la ciencia? El tema crucial de naturaleza de la ciencia es si los genes y los átomos de hecho existen, si existen en principio, no si una representación particular es correcta o no. Una vez que concedemos que el principio existe, podemos relajarnos sobre sus representaciones particulares; sólo necesitamos que intervenga un poco de buena enseñanza de la ciencia. Sin embargo, Lederman guarda silencio sobre qué es lo que se niega: la existencia en principio o algún tipo particular de existencia: genes como perlas o átomos que son rojos o verdes.

Se presenta la misma ambigüedad cuando otro miembro del grupo, Fouad Abd-El-Khalick, reconoce que "El mundo de la ciencia está habitado por una multitud de entidades teóricas, tales como átomos, fotones, campos magnéticos y fuerzas gravitacionales, por mencionar sólo unos cuantos". Todos los realistas reconocen que las entidades que se mencionan en esta lista son tanto teóricas como cruciales para la

ciencia, pero Abd-El-Khalick continúa diciendo que se trata de "modelos teóricos funcionales más que de copias fieles de la 'realidad'" (Abd-El-Khalick, 2004, p. 409-410). Aquí está de nuevo la ambigüedad. Uno se pregunta por qué "realidad" se pone entre comillas irónicas que introducen una semilla de duda sobre la realidad misma, pero esto puede dejarse de lado por el momento, ya que Abd-El-Khalick es realista en lo que concierne a la realidad. Lo más importante es que los modelos teóricos funcionales pueden tener una referencia (denotar algo que existe) o no ser más que vínculos entre cosas observables, por lo general en una formulación matemática que no tiene relevancia ontológica. La afirmación de Abd-El-Kalick es ambigua sobre el importante aspecto de si las entidades teóricas que se mencionan son "modelos teóricos funcionales" que no existen en principio puesto que no son "copias fieles de la realidad" a causa de su naturaleza misma.

Es una reformulación de la distinción, largamente discutida, entre las construcciones hipotéticas (que en principio pueden existir, aunque de hecho pueden no hacerlo o no tener las propiedades que se les atribuyen) y las variables intermedias (que en principio no existen pero pueden vincular cosas observables).[12] En el siglo XIX, el calórico y Neptuno eran construcciones hipotéticas; una resultó existir, la otra no. El concepto de "integrantes promedio por familia" funciona como una variable intermedia cuando se aplica a las sociedades; no se sugiere que una familia particular pueda tener 3.7 integrantes, y esta última variable no busca copiar, ni fielmente ni de ningún otro modo, una realidad particular. La pregunta central es si los átomos, los campos magnéticos y las fuerzas gravitacionales son como los integrantes promedio por familia. Bellarmine, Berkeley, Mach y Bohr responderían "sí"; no queda claro si Abd-El-Khalick está de acuerdo con ellos o no. Si dedicara cierto esfuerzo a determinar el significado preciso de "modelo teórico funcional" esta ambigüedad desaparecería, y lo que es más importante, podría presentársele a los maestros y a los alumnos una larga y rica conversación filosófica sobre la historia de la ciencia.

De buenas a primeras, parecería que el grupo de Lederman está formado por empiristas y constructivistas sobre las entidades teóricas en ciencia. Éste sería un error, y no es el mensaje sobre la naturaleza de la ciencia que los maestros de ciencia deben transmitir. El error se encuentra no tanto en la afirmación de uno de los lados filosóficos de este debate, el constructivismo, sino en dar la impresión de que no existe debate o que no se ha adoptado una postura alternativa: la realista. Una vez más, concentrarse en aprender la lista de naturaleza de la ciencia en vez de animar a una discusión y una investigación abierta sobre las caracteríticas de la ciencia conduce a este error.

El segundo problema con la caracterización que hace el grupo de Lederman de la ciencia con "base empírica" es que disfraza, e incluso distorsiona por completo, los componente no empíricos de la ciencia. El proceso mismo de abstracción y de

idealización es el comienzo de la ciencia moderna. Es la capacidad de ver el bosque, y no sólo los árboles. Considérense las "miles de oscilaciones" del péndulo de Galileo. Como se revisó con detalle en el capítulo VI de este libro, está claro que Galileo nunca las vio; se trata de una afirmación sobre lo que habría visto si se eliminaran los obstáculos para el movimiento del péndulo. De forma similar, Newton nunca vio cuerpos inerciales que se movían indefinidamente sobre una línea recta; es lo que habría visto de haberse eliminado la resistencia. En su biografía de Galileo, Fermi y Bernardini destacan esta innovación:

> Al formular la "ley de la inercia", la abstracción consistió en imaginar el movimiento de un cuerpo sobre el cual no actuaba ninguna fuerza y que sobre todo estaba libre de cualquier clase de fricción. Esta abstracción no fue sencilla, porque fue precisamente la fricción la que enmascaró durante miles de años la sencillez y validez de las leyes del movimiento. En otras palabras, la fricción es un elemento esencial de la experiencia humana; nuestra intuición está dominada por la fricción; los hombres pueden moverse por el planeta gracias a la fricción; gracias a ella es que pueden sostener objetos con las manos, tejer telas, construir automóviles y casas, etc. Ver la esencia del movimiento más allá de las complicaciones de la fricción requirió una gran imaginación [Fermi y Bernardini, 1961, p. 116].

El objetivo de esta larga discusión sobre el primer elemento de la lista de Lederman es indicar que una afirmación como ésta sobre las bases empíricas y el papel de la inferencia debe desarrollarse en un nivel mucho más sofisticado, tanto para que sea útil como para evitar enormes confusiones sobre la actividad científica. Por añadidura, no hay que hollar muy profundo en un terreno abonado por la historia y filosofía de la ciencia para que esta afirmación más o menos trivial y poco controvertida —que la ciencia tiene una base empírica— se transforme en una investigación apasionante que puede vincular tanto a maestros como a alumnos con un argumento filosófico central en la historia de la filosofía, es decir, la interpretación realista o instrumentalista de la teoría científica, un debate a ambos lados del cual se encuentran algunas de las más grandes mentes. No se trata de un asunto sencillo y dicotómico que pueda reducirse a una lista declarativa.

El mismo tipo de argumento puede usarse contra los demás elementos de la lista de Lederman. Un asunto general es que la elaboración que se requiere para cada uno de ellos depende de que los maestros tengan algunas habilidades de historia y filosofía de la ciencia, o al menos que estén familiarizados con ella; esta capacitación está ostensiblemente ausente de los programas de formación de maestros.

Subjetividad

El cuarto punto es que "El conocimiento científico es subjetivo y está cargado hacia el lado de la teoría". Una vez más, se trata de una afirmación ambigua: puede responderse

que “sí” y que “no”. Para empezar, reconocer que una afirmación está cargada hacia el lado de la teoría no equivale a decir que es subjetiva, en la acepción psicológica común del término. Una descripción cargada hacia la teoría es tan buena y tan confiable como la teoría encarnada en la descripción; no tiene en sí misma nexos con la subjetividad. Sin embargo, el grupo de Lederman usa un significado de “subjetividad” que es ambiguo. Por ejemplo, Lederman dice: “No defiendo que los científicos sean subjetivos” (Lederman, 2004, p. 306). Aquí el significado de “subjetivo” debe concordar con el sentido psicológico cotidiano del término, y los científicos por supuesto deben evitar este tipo de subjetividad. Sin embargo, antes estuvimos tratando de lo que podemos llamar “subjetividad filosófica”, que se ha afirmado que equivale a una orientación más bien teórica de la ciencia y es “inevitable” (Lederman, 2004, p. 306). Está claro que la ciencia siempre está cargada hacia el lado de la teoría, como Lederman bien señala, pero si ése es el caso, los científicos tienen que ser subjetivos (en el sentido filosófico), defiendan o no la subjetividad, lo cual es totalmente diferente de la variedad psicológica.

La larga historia de la ciencia moderna es un esfuerzo por eliminar, o reducir en la medida de lo posible, la subjetividad psicológica en la medición y la explicación, comenzando con el uso de los primeros instrumentos de medición para obtener acuerdos intersubjetivos sobre el peso, la longitud, el tiempo, etc. Como se mencionó en el capítulo VI, Galileo creó el *pulsilogium* para poder medir el pulso en forma objetiva con fines de diagnóstico médico. Los juicios, totalmente subjetivos, de pulso “rápido”, “medio” o “lento” fueron remplazados por la longitud de un péndulo que oscilaba al ritmo del pulso del paciente. Esta longitud podía ser observada y medida por cualquiera; el pulso ya no era un asunto totalmente interno y subjetivo. Este proceso y esta preocupación se repiten durante todo el desarrollo de los instrumentos de medición en ciencia (amperímetros, voltímetros, balanzas de resorte, etc.) y en ciencias sociales (pruebas de inteligencia y de personalidad, medidas de bienestar, etc.). La fuerza del cuarto punto se basa por completo en una ambigüedad, lo que resulta desafortunado en una lista tan ampliamente usada para medir la comprensión de la naturaleza de la ciencia.

Cultura

La quinta afirmación del grupo es que la ciencia está integrada a la cultura; que “es afectada, y afecta a su vez, los diferentes componentes y ámbitos intelectuales de la cultura en la cual está inserta” (Lederman, 2004, p. 306). Es importante que eso se reconozca, pero una vez más el diablo está en los detalles, y éstos no se nos proporcionan. Como se esbozó en el capítulo X, sabemos que las culturas del nazismo (Beyerchen, 1977), el estalinismo (Birstein, 2001; Graham, 1973), el islam (Hoodbhoy, 1991) y el hinduismo (Nanda, 2003), por mencionar sólo algunos ejemplos, afectaron

dramáticamente la investigación allí donde tuvieron el poder necesario para hacerlo. Y, por supuesto, está muy bien documentado el impacto para bien y para mal que tuvieron sobre la ciencia la cultura, las creencias y las autoridades cristianas (Lindberg y Numbers, 1986; Reiss, 2014). Es claro que las ciencias indígenas son afectadas por las visiones del mundo y las estructuras sociales de las sociedades tradicionales dentro de las que se practican; eso, precisamente, es lo que las hace ser ciencias indígenas.

Todos los estudiosos de la revolución científica europea reconocen que el florecimiento de la nueva ciencia de Galileo, Huygens, Newton, Boyle y otros dependió de las circunstancias sociales y culturales de la Europa del siglo XVII, pero no fue provocado por ellas. Ha habido programas enteros de investigación dedicados a catalogar estas contribuciones culturales.[13] Por el contrario, algunos académicos han tratado de identificar la ausencia de circunstancias como éstas en China que puedan explicar por qué no ocurrió allí una revolución científica comparable (Needham y Lin, 1954-1965). En un estudio muy famoso y controvertido, Paul Forman trató de encontrar un nexo causal entre la cultura de la Alemania de Weimar y la creación de la teoría cuántica, con sus indeterminaciones (Forman, 1971).

Los hechos sociológicos e históricos no están a debate: la ciencia depende de la tecnología, las matemáticas, las comunicaciones, el dinero, la educación, la filosofía y la cultura en general, y resulta útil recordarle esto tanto a maestros como a alumnos y darles ejemplos. Sin embargo, para que este hecho de verdad resulte útil, y no una mera observación de tipo antropológico, los maestros (y sus alumnos) tienen que estar involucrados, o investigar, sobre temas tales como distinguir los efectos adversos y benignos de la cultura; distinguir la ciencia buena de la mala; identificar factores internos y externos en el desarrollo científico; tratar de determinar qué tan análogas son la ciencia occidental y la ciencia indígena; tener claro de qué forma esta información influye sobre la validez de lo que se afirma o sobre el carácter progresista de la ciencia que se ve afectada, etc. Sin embargo, el grupo de Lederman guarda silencio sobre estos asuntos normativos.

Nos dice que, si bien la ciencia occidental domina las escuelas de América del Norte, "existen otras ciencias análogas (por ejemplo, la ciencia indígena) en otras parte del mundo" (Lederman, 204, p. 307). Aquí la ambigüedad sobre el sentido de "análogo" significa que este punto de la lista no sirve para orientar a los maestros ni sobre culturas resistentes a la ciencia occidental ni sobre situaciones multiculturales. Llegar a partir de esta afirmación antropológica a la conclusión educativa de que allí donde existan estas ciencias análogas deben ser enseñadas en la escuela es un paso demasiado fácil de dar.[14]

Es verdad que el grupo de Lederman dice, atinadamente, que enseñar naturaleza de la ciencia significa identificar, entre otras cosas, "los valores y creencias inherentes al conocimiento científico y su desarrollo" (Lederman, 2004, p. 303), pero no se explica

exactamente qué son estos valores. Esto está bien si se pretende que los maestros y los alumnos encuentren sus propias respuestas, pero el propósito es que la lista funcione como una caracterización de la naturaleza de la ciencia que le sirva a los maestros; y en este caso, como se ha argumentado, en qué medida resulte útil depende de una elaboración basada en la historia y filosofía de la ciencia. Como se demostró en el capítulo V, existe una amplia bibliografía de historia y filosofía de la ciencia sobre el papel de los valores internos y externos y de los valores éticos y cognitivos en la ciencia, y resulta útil presentarle a los maestros ese conjunto de discusiones.

La historia y la sociología de la ciencia demuestran la influencia de los intereses personales, sociales, sexuales y culturales sobre el desarrollo de la ciencia. Reconocer estas influencias es un componente fundamental de una buena enseñanza de la ciencia. Con frecuencia, estos supuestos sólo se vuelven evidentes a través del lente de la historia o el de otras culturas. Pocas personas han expresado esta idea mejor que Ernst Mach, en cuya historia de la mecánica de 1883 dijo:

> La investigación histórica del desarrollo de la ciencia es de lo más necesaria, si no queremos que los principios que atesoramos en ella se conviertan en un sistema de preceptos entendidos a medias o, lo que es peor, un sistema de prejuicios. La investigación histórica no sólo fomenta la comprensión de lo que ocurre hoy; también nos presenta nuevas posibilidades [Mach, 1883/1960, p. 316].

Que los científicos lleven consigo sus propias cargas culturales no implica que sus descubrimientos sean subjetivos, o que su trabajo intelectual se vea comprometido. Durante siglos, los científicos de distintos entornos culturales, raciales y religiosos han construido sobre el trabajo de científicos de otras culturales y de siglos anteriores. Hoy en día, la ciencia “occidental” es enriquecida por científicos de todos los rincones del planeta; de hecho, algunas culturas no occidentales están poniendo más empeño que el Reino Unido y Estados Unidos en la enseñanza occidental de la ciencia, y están obteniendo mejores resultados. Este hecho concuerda con las teorías estructuralistas u objetivistas de la ciencia, que mantienen que la ciencia es independiente de las experiencias individuales de los científicos y que, en general, el estado de la ciencia es el que determina la experiencia de los científicos, y no al revés (Chalmers, 1990).

Ya hemos argumentado que los siete elementos de la lista de la naturaleza de la ciencia del grupo de Lederman pueden concebirse con más provecho como diferentes características de la ciencia que deben ser desarrolladas, discutidas y cuestionadas que como puntos que deben ser aprendidos y evaluados. Cada una de estas características tiene una rica bibliografía elaborada por filósofos, historiadores y otros, como indicamos arriba para tres de los puntos de esa lista. Sin embargo, si se trata de características de la ciencia, no hay razón para escoger precisamente esas siete características y no otras entre los muchos rasgos —epistemológicos, históricos, psicológicos, sociales, tecnológicos, económicos, etc.— que puede decirse que caracterizan la actividad científica y que también satisfacen los tres criterios de acceso, consenso y utilidad que el grupo de Lederman usa, además, para recortar los asuntos de la naturaleza de la ciencia hasta un tamaño adecuado para el aula.

El grupo reconoce que pueden añadirse muchas otras cosas a su lista; no la considera cerrada. Pero esta supuesta flexibilidad se encuentra opacada por la terminología esencialista de la naturaleza de la ciencia. Entre los filósofos, la discusión y el debate sobre naturaleza de la ciencia han girado, tradicionalmente, en torno de la investigación sobre los compromisos epistemológicos, metodológicos, ontológicos y éticos de la ciencia. Sin embargo, existen algunos estudios esclarecedores de la ciencia que no son de naturaleza filosófica, como los que han llevado a cabo historiadores, psicólogos cognitivos, sociólogos, economistas, antropólogos y miembros de muchas otras disciplinas, que pueden catalogarse, en conjunto, como “estudios de la ciencia”. Este término abarca todo el espectro académico, y cada uno de sus componentes tiene algo útil que decir sobre las diferentes características de la ciencia. Las que siguen son sólo algunas de las características, temas, problemas o discusiones que pueden estimular a los maestros y a los alumnos cuando aprenden sobre ciencia o naturaleza de la ciencia. Estas características se han puesto de relieve en los capítulos V a VII de este libro.

Punto 8: Experimentación

Como se mostró en el capítulo VI, el viejo mandato aristotélico de no interferir con la naturaleza si es que queremos entenderla fue rechazado primero por Galileo, con sus famosos experimentos con el plano inclinado, que llevó a cabo para entender el fenómeno de la caída libre, y poco a poco por los otros personajes fundacionales de la ciencia moderna temprana, en particular por Newton, con su manipulación óptica del prisma con la que logró desviar la luz y obligarla a separarse y a reunirse después. Este nuevo experimentalismo llevó a Kant a observar que:

> Cuando Galileo hizo rodar por el plano inclinado las bolas cuyo peso él mismo había determinado; cuando Torricelli hizo soportar al aire un peso que de antemano había pensado igual al de una determinada columna de aire […] entonces percibieron todos los físicos una luz nueva. Comprendieron que la razón no conoce más que lo que ella misma produce según su bosquejo; que debe adelantarse con principios de sus juicios, según leyes constantes, y obligar a la naturaleza a contestar a sus preguntas, no empero dejarse conducir como con andadores [Kant, 1787/1933, p. 20] [Biblioteca virtual universal. <http://www.biblioteca.org.ar/libros/89799.pdf>].

Mientras Kant escribía esto, Priestley, como se mostró en el capítulo VII, practicaba su química neumática y llevaba a cabo sus investigaciones sobre lo que terminaría llamándose la fotosíntesis.

Los historiadores y los filósofos han escrito mucho sobre este tema; algunos mantienen que lo que determinó la revolución científica fue precisamente la experimentación y la manipulación de la naturaleza. Este tema puede vincularse de inmediato con una comprensión más sofisticada del trabajo de laboratorio y la experimentación de los alumnos en la escuela (Chang, 2010; Hodson, 1993, 1996; Jenkins, 1999). Son buenas razones para añadir la experimentación en cualquier lista de naturaleza de la ciencia, cosa que si se pasa de un marco conceptual de naturaleza de la ciencia a uno de carácterísticas de la ciencia puede hacerse fácilmente sin tener que discutir qué debe eliminarse de la lista. Los experimentos son un sello distintivo de la ciencia escolar, y de la mano de maestros que saben sobre historia y filosofía de la ciencia pueden ser una oportunidad para explorar una importante característica de la ciencia.

Punto 9. Idealización

Como también se documentó en el capítulo VI, y con mayor profundidad en Matthews (2000a), Galileo fue el primero en integrar la idealización en la investigación de la naturaleza, una jugada metodológica que permitió que naciera su nueva ciencia a partir de un entorno medieval y renacentista. Lo que Galileo reconoció fue que las leyes de la naturaleza no eran obvias; no estaban dadas por la experiencia inmediata y sólo podían aplicarse a circunstancias idealizadas. Este uso de la idealización estaba en plena contradicción con la vieja tradición empírica aristotélica, en la que la “ciencia” se ocupaba del mundo que podía verse y experimentarse. Como mantenía Aristóteles, “Si no podemos creer a nuestros ojos, ¿qué debemos creer?” En contraste, Galileo dice, inmediatamente después de probar su famosa ley del movimiento parabólico:

> Concedo igualmente que las conclusiones probadas en abstracto se alteran y son tan engañosas en concreto que ni el movimiento transversal es uniforme ni la aceleración natural tiene lugar según la proporción que hemos supuesto, ni la línea descrita por el proyectil es una parábola, etc. [Galilei, 1638/1954, p. 251]

[*Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Madrid, Editora Nacional].

El hecho de que la idealización, y únicamente ella, le otorgara una dirección específica a la experimentación, de modo que los estudiosos de la naturaleza pudieran moldearla según "un plan propio", por citar las famosas palabras de Kant, es de una importancia crucial. Las décadas y los siglos de la mecánica clásica, que nacieron con Galileo, fueron un largo proceso de moldear la naturaleza a la imagen de la teoría. De eso se trata el experimento: de controlar todas las variables que la teoría identifica como irrelevantes y modificar la que se considera responsable del fenómeno.

El historiador William Brock ha afirmado atinadamente sobre este tema, al discutir los procedimientos de Joseph Priestley:

> Cuando la ciencia hace una idealización, deja las anomalías para que quienes vengan después añadan explicaciones tales como "reacciones secundarias", la presencia de impurezas, condiciones física alteradas, etc. Pero como muestran una y otra vez los ejemplos del pasado […] la simplificación es una característica necesaria para el progreso científico, y el primer paso hacia el avance en el conocimiento [Brock, 2008, p. 78].

Sin idealización no existiría la ciencia moderna, y es por ello que se hacen llamados enérgicos a incluir la idealización en cualquier lista de naturaleza de la ciencia, cosa que, nuevamente, es fácil de hacer si uno pasa de una perspectiva esencialista de la naturaleza de la ciencia a una más flexible de características de la ciencia.

Punto 10: Modelos

La ubicuidad de los modelos en la historia y la práctica actual de la ciencia se reconoce ampliamente, pues es difícil pensar en ciencia sin modelos: los modelos de la "bola de billar", el "panqué de pasas" y el "sistema solar" para el átomo, el modelo de la órbita del electrón para la tabla periódica, el modelo de "encaje" para la estructura de la sal, el modelo de los fluidos para la electricidad, el modelo de la doble hélice para los cromosomas, el modelo de "supervivencia del más apto" para la expansión de las poblaciones en los ecosistemas, el modelo corpuscular de la luz, el modelo del *big bang* en cosmología, el modelo de "tres cuerpos" para la interacción Sol-Luna-Tierra, los modelos de dinosaurios completos armados a partir de fragmentos de huesos en paleontología, el modelo de la tectónica de placas en geofísica, la infinidad de modelos matemáticos en los estudios de herencia y población, los miles de modelos matemáticos en economía, ingeniería, etc. Si se toman 10 páginas al azar de cualquier libro de texto, lo más probable es que contengan 20 modelos, muchos a todo color y con gráficos de última generación.

Durante el último medio siglo, los historiadores y los filósofos de la ciencia han dedicado mucho tiempo a documentar y comprender el papel de los modelos en la ciencia y las ciencias sociales. Estos estudios han llevado a los académicos a estudiar temas vinculados con los modelos, tales como la naturaleza de la teoría científica, el estatus de las hipótesis, el papel de la metáfora y la analogía en las explicaciones científicas, los experimentos mentales en ciencia y el papel central que ocupa la idealización en la articulación, la aplicación y la valoración de los modelos. El texto de Mary Hesse *Models and Analogies in Science* [Modelos y analogías en ciencia] (Hesse, 1966) fue de particular importancia.

Lo que dio impulso a la investigación educativa sobre los modelos fue el trabajo de diversos psicólogos y científicos cognitivos (Gentner y Stevens, 1983). Entre ellos, el libro de Philip Johnson-Laird *Mental Models* [Modelos mentales] (1983) tuvo una enorme influencia. Él y sus colaboradores ofrecieron una explicación sobre la ubicuidad de los modelos en ciencia: detallaron de qué forma los modelos no sólo son ubicuos en ciencia sino *en el cerebro mismo,* en nuestra vida mental. Johnson-Laird escribió que:

> Actualmente es plausible suponer que los modelos mentales desempeñan un papel central y unificador en la representación de objetos, estados de cosas, secuencias de acontecimientos, funcionamiento del mundo y las acciones sociales y psicológicas de la vida diaria. Le permiten a los individuos hacer inferencias y predicciones, comprender fenómenos, decidir qué acciones llevar a cabo y controlar su realización, y sobre todo experimentar los eventos en forma indirecta; permiten que se use el lenguaje para crear representaciones comparables con las que se derivan de un contacto directo con el mundo, y mediante la concepción y la percepción relacionan las palabras con el mundo [Johnson-Laird, 1983, p. 397].

Aquí Johnson-Laird esquiva el problema epistémico central. Si bien resulta importante reconocer la ubicuidad de los modelos en el razonamiento humano, y constituye un logro de la psicología, este reconocimiento no hace más que subrayar la importancia de combinar la epistemología con la teoría del aprendizaje, en particular para la ciencia. Darse cuenta de que todos los individuos y las culturas tienen modelos mentales de sus mundos naturales y sociales y que los usan para interpretar las percepciones y dar significado a los acontecimientos es una cosa, y determinar cómo funcionan exactamente estos modelos es un campo de estudio legítimo para la psicología y la antropología, pero lo que les interesa a los pedagogos, los filósofos y los científicos es qué modelos mentales reflejan o capturan con más exactitud el mundo y sus procesos, qué modelos contribuyen al avance del conocimiento y no de los puntos de vista, por más que sean puntos de vista muy útiles. Los psicólogos no necesitan hacer esta distinción, ya que el estudio del aprendizaje es neutral con respecto a la veracidad de lo que se aprende: los procesos mentales mediante los que se aprende astrología no son diferentes de los de la astronomía; aprender sobre las auras psíquicas implicará los mismos mecanismos que aprender sobre las arterias; aprender mentiras no será diferente

que aprender verdades. La teoría del aprendizaje es epistemológicamente ciega, pero la educación no puede serlo: su tarea es promover la verdad, no la ignorancia; fomentar la racionalidad, no la irracionalidad. Tal vez resulte tranquilizador decir que los modelos forman parte de todos los procesos de razonamiento, pero es una tranquilidad prematura. Es la situación de la que hablaba Hegel cuando dijo "de noche todas las vacas son negras". Cuando llega la mañana aún está pendiente la tarea de separar las vacas negras de las blancas.

Si los modelos se consideran una característica importante de la ciencia, los maestros competentes en historia y filosofía de la ciencia pueden ofrecer materiales y preguntas enriquecedoras para la discusión en clase: ¿Qué relación tienen los modelos con el mundo que modelan? ¿Aprender sobre las propiedades de los modelos es lo mismo que aprender sobre el mundo? Como ocurre con muchas preguntas de características de la ciencia, no hay una respuesta incontrovertible, sólo respuestas más informadas y mejor argumentadas.[15]

Una vez que la experimentación, la idealización y los modelos se aceptan como parte de una lista de naturaleza de la ciencia, ésta puede ampliarse para incluir cualquier otra característica importante e interesante de la ciencia, algunas de las cuales son:

11) Valores
12) Matematización
13) Tecnología
14) Explicación
15) Visiones del mundo
16) Racionalidad
17) Feminismo
18) Realismo y constructivismo

Estas y otras características pueden desarrollarse conforme lo permita la situación curricular, cuando en los medios se reporten acontecimientos importantes o de coyuntura relacionados con la ciencia y cuando los maestros mismos estén interesados en el tema.

Los maestros deben tener metas modestas para la enseñanza de la ciencia, ya sea para las características de la ciencia o la naturaleza de la ciencia. Por fortuna, en la primera página de los *Benchmarks* [Estándares] de la American Association for the Advancement of Science (AAAS) se afirma que “No sirve de gran cosa presentarles estas creencias a los alumnos como si fueran un dogma. Para empezar, se trata de ideas sutiles” (AAAS, 1993, p. 5). En el curso Perspectives on Science del Reino Unido, se sostiene lo mismo y se afirma una y otra vez que los alumnos aprenderán a apreciar las posturas y los problemas de la naturaleza de la ciencia y adquirirán habilidades en el pensamiento sobre la naturaleza de la ciencia, y no simples conocimientos declarativos sobre la naturaleza de la ciencia. Es importante subrayar estos asuntos: en primer lugar, las afirmaciones de las características de la ciencia no deben presentarse como un dogma —hacerlo es confundir la educación con el adoctrinamiento—, y en segundo lugar la mayor parte, si no es que todas las afirmaciones sobre características de la ciencia, son sutiles, y reconocer esta sutileza depende de que se esté consciente de la historia y la filosofía de la ciencia. Ambos puntos tienen implicaciones para el tema, muy polémico y estudiado, de la evaluación del aprendizaje de la naturaleza de la ciencia.

No puede esperarse que los alumnos, o los maestros en formación, se conviertan en historiadores, sociólogos o filósofos de la ciencia profesionales. Al incluir preguntas sobre naturaleza de la ciencia o características de la ciencia en el aula, debemos hacerlo con metas más bien limitadas. Los maestros deben buscar que sus alumnos tengan una comprensión más compleja de la ciencia, lo cual no quiere decir que deba ser muy compleja ni mucho menos absoluta. Por suerte, la filosofía no tiene que importarse artificialmente en el salón de clases, puesto que puede encontrarse con sólo rascar un poco en la superficie de cualquier lección o libro de texto. En su nivel más básico, cualquier texto o discusión científicos contendrá términos tales como “ley”, “teoría”, “modelo”, “explicación”, “causa”, “verdad”, “conocimiento”, “hipótesis”, “confirmación”, “observación”, “evidencia”, “idealización”, “tiempo”, “espacio”, “campos” o “especies”. La filosofía comienza tan pronto se explican, desarrollan y discuten estos temas comunes y ubicuos.

No hay por qué abrumar a los alumnos con preguntas filosóficas “avanzadas”. Tienen que gatear antes de caminar, y caminar antes de correr; no es más que sentido común pedagógico. Hay muchas preguntas filosóficas de nivel básico que pertenecen legítimamente al ámbito de las características de la ciencia: ¿Qué es una explicación científica? ¿Qué es un experimento controlado? ¿Qué es un experimento crucial, y hay alguno? ¿Cómo funcionan los modelos en ciencia? ¿Cuántas veces hay que confirmar una hipótesis antes de que sea aceptada? ¿Hay formas de determinar el valor de programas rivales de investigación? ¿Las creencias religiosas de Newton afectaron de

algún modo su ciencia? ¿La analogía de Darwin sobre el “libro al que le faltan páginas” fue una respuesta adecuada a los críticos que señalaron todas las evidencias que contradecían su teoría de la evolución? ¿Planck es culpable de permanecer en la Alemania nazi y de continuar con su investigación científica durante la guerra?, etcétera.

Del mismo modo, es imposible evitar la historia. Los textos están repletos de nombres como Aristóteles, Copérnico, Kepler, Galileo, Huygens, Newton, Boyle, Hooke, Darwin, Mendel, Faraday, Volta, Lavoisier, Priestley, Dalton, Rutherford, Mach, Curie, Bohr, Heisenberg, Einstein y otros. La historia “light” comienza cuando los maestros, como dice Westaway en la cita que se reproduce antes, “hablan [con los alumnos] sobre las ecuaciones personales, la vida y la obra” de estos personajes y los animan a investigar por su cuenta sobre la vida, la obra, la época y el impacto de estos científicos.[16] La historia “a máxima potencia” comienza cuando en las aulas se reproducen los experimentos y los debates de estos personajes, cuando se practica una enseñanza “histórica-investigativa” y cuando se establecen lazos con otras materias.

CONCLUSIÓN

Todos los días los periódicos, la televisión e internet presentan controversias y debates sociocientíficos sobre genética, la industria agropecuaria, el cambio climático, las cosechas transgénicas, el calentamiento global, etc. Si la comprensión de las características de la ciencia fuera una meta curricular, los maestros bien capacitados deberían ser capaces de profundizar un poco en estos temas conforme suceden, y de facilitar discusiones en clase que destaquen los puntos relevantes de las características de la ciencia a partir de controversias particulares. Avanzar en la discusión y entender cada uno de los puntos es el objetivo principal, pero identificar los componentes de las características de la ciencia adecuados para cada debate es un segundo punto importante en las aulas, y puede desarrollarse una discusión sobre cosas como experimentos, modelos, objetividad, valores, valores cognitivos y no cognitivos, etc. El cambio de enfoque, de la naturaleza de la ciencia a las características de la ciencia, facilita enormemente esta orientación; un tema de coyuntura importante puede estar o no en una lista de naturaleza de la ciencia, pero siempre puede desarrollarse y enseñarse. La investigación sobre la naturaleza de la ciencia se ha concentrado en la naturaleza del conocimiento científico; las características de la ciencia lo integran, pero también se ocupa de los procesos, las instituciones y los contextos sociales y culturales en los que se produce este conocimiento. Como se sostiene antes, hay que ser precavido:

> Los pedagogos de la ciencia deben ser modestos cuando exigen que la historia y la filosofía de la ciencia o la epistemología ocupen lugares importantes […] La modestia no implica ser pasivo o insulso, sino reconocer que en los problemas intelectuales más serios siempre hay dos o más lados. Y este reconocimiento tiene que traducirse en forma inteligente y sensible en la práctica en el aula [Matthews, 1998, pp. 169-170].

AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1993), *Benchmarks for Science Literacy,* Nueva York, Oxford University Press.

Abd-el-Khalick, F. (2004), "Over and over again: College students' views of nature of science", en L. B. Flick y N. G. Lederman (coords.), *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 389-425.

———— (2005), "Developing deeper understanding of nature of science: The impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional planning", *International Journal of Science Education,* vol. 27, núm. 1, pp. 15-42.

Abd-el-Khalick, F., y N. G. Lederman (2000), "Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature", *International Journal of Science Education,* vol. 22, núm. 7, pp. 601-665.

Arons, A. B. (1988), "Historical and philosophical perspectives attainable in introductory physics courses", *Educational Philosophy and Theory,* vol. 20, núm. 2, pp. 13-23.

Bazzul, J., y H. Sykes (2011), "The secret identity of a biology textbook: Straight and naturally sexed", *Cultural Studies of Science Education,* vol. 6, núm. 2, pp. 265-286.

Bell, R. L., F. Abd-el-Khalick, N. G. Lederman, W. F. McComas y M. R. Matthews (2001), "The nature of science and science education: A bibliography", *Science & Education,* vol. 10, núms. 1-2, pp. 187-204.

Beyerchen, A. D. (1977), *Scientists under Hitler: Politics and the Physics Community in the Third Reich,* New Haven, Yale University Press.

Birstein, V. J. (2001), *The Perversion of Knowledge: The True Story of Soviet Science,* Cambridge, Westview Press.

Brock, W. H. (2008), "Joseph Priestley, enlightened experimentalist", en I. Rivers y D. L. Wykes (coords.), *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian,* Oxford, Oxford University Press, pp. 49-79.

Chalmers, A. F. (1990), *Science and Its Fabrication,* Milton Keynes, Open University Press.

Chan, K. W., y R. G. Elliott (2004), "Relational analysis of personal epistemology and conceptions about teaching and learning", *Teaching and Teacher Education,* vol. 20, núm. 8, pp. 817-831.

Chang, H. (2010), "How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: The cases of boiling water and electrochemistry", *Science & Education,* vol. 20, núms. 3-4, pp. 317-341.

Chen, S. (2006), "Development of an instrument to assess views on nature of science and attitudes towards teaching science", *Science Education,* vol. 90, núm. 5, pp. 803-819.

Cohen, R. S. (1975), *Physical Science,* Nueva York, Holt, Rinehart & Winston.

Dewey, J. (1910), "Science as subject-matter and as method", *Science,* vol. 31, pp. 121-127. Reproducido en *Science & Education,* vol. 4, núm. 4, pp. 391-398, 1995.

Duschl, R., y R. Grandy (2013), "Two views about explicitly teaching nature of science", *Science & Education,* vol. 22, núm. 9, pp. 2109-2139.

Duschl, R. A. (1985), "Science education and philosophy of science, twenty-five years of mutually exclusive development", *School Science and Mathematics,* vol. 87, núm. 7, pp. 541-555.

———— (1990), *Restructuring Science Education: The Importance of Theories and Their Development,* Nueva York, Teachers College Press. [Hay edición en español: *Renovar la enseñanza de las ciencias: Importancia de las teorías y su desarrollo,* Madrid, Narcea, 1997.]

———— (2004), "Relating history of science to learning and teaching science: Using and abusing", en L. B. Flick y N. G. Lederman (coords.), *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Fermi, L., y G. Bernadini (1961), *Galileo and the Scientific Revolution,* Nueva York, Basic Books.

Flick, L. B., y N. G. Lederman (coords.) (2004), *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education,* Dordrecht, Kluwer Academic Press.

Forman, P. (1971), "Weimar culture, causality and quantum theory, 1918-1927: Adaptation by German physicists and mathematicians to a hostile intelectual environment", en R. McCormmach (coord.), *Historial Studies in the Physical Sciences,* núm. 3, Filadelfia, University of Pennsylvania Press, pp. 1-116.

Freudenthal, G., y P. McLaughlin (coords.) (2009), *The Social and Economic Roots of the Scientific Revolution. Texts by Boris Hessen and Henryk Grossman,* Dordrecht, Springer.

Galilei, Galileo (1638/1954), *Dialogues Concerning Two New Sciences,* trad. de H. Crew y A. de Salvio, Nueva York, Dover Publications (publicado originalmente en 1914). [Hay edición en español: *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias,* ed. de C. Solís y J. Sádaba, Madrid, Editora Nacional, 1981.]

Gentner, D., y A. Stevens (coords.) (1983), *Mental Models,* Hillsdale, Lawrence

Earlbaum.
Graham, L. R. (1973), *Science and Philosphy in the Soviet Union,* Nueva York, Alfred A. Knopf.
Hesse, M. B. (1966), *Models and Analogies in Science,* South Bend, University of Notre Dame Press.
Hessen, B. M. (1931), "The social and economic roots of Newton's *Principia*", en *Science at the Crossroads,* Londres, Kniga. Reimpreso en G. Basalla (coord.), *The Rise of the Modern Science: External or Internal Factors?,* Nueva York, D. C. Heath, 1968, pp. 31-38.
Hodson, D. (1986), "Philosophy of science and the science curriculum", *Journal of Philosophy of Education,* vol. 20, pp. 241-251. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto, OISE Press, 1991, pp. 19-32.
———— (1988), "Toward a philosophically more valid science curriculum", *Science Education,* vol. 72, pp. 19-40.
———— (1993), "Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in science", *Studies in Science Education,* vol. 22, pp. 85-142.
———— (1996), "Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion", *Journal of Curriculum Studies,* vol. 28, pp. 115-135.
———— (2008), *Towards Scientific Literacy: A Teachers' Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science,* Rotterdam, Sense Publishers.
———— (2009), *Teaching and Learning about Science: Language, Theories, Methods, History, Traditions and Values,* Rotterdam, Sense Publishers.
———— (2014), "Nature of science in the science curriculum: Origin, development and shifting emphases", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Srpinger, pp. 911-970.
Holmyard, E. J. (1924), *The Teaching of Science,* Londres, Bell.
Holton, G. (1975), "Science, science teaching and rationality", en S. Hook, P. Kurtz y M. Todorovich (coords.), *The Philosophy of the Curriculum,* Búfalo, Prometheus Books, pp. 101-118.
———— (1978), "On the educational philosophy of the Project Physics course", en *The Scientific Imagination: Case Studies,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 284-298.
Hoodbhoy, P. (1991), *Islam and Science: Religious Orthodoxy and the Battle for Rationality,* Londres, Zed Books. [Hay edición en español: *El islam y la ciencia: Razón científica y ortodoxia religiosa,* Barcelona, Bellaterra, 1998.]
Huxley, T. H. (1868/1964), "A liberal education; and where to find it", en *Science &*

Education, Nueva York, Appleton, 1897 (publicado originalmente en 1885). Reimpreso, con una introducción de C. Winick, Nueva York, Citadel Press, 1964, pp. 72-100.
Irzik, G., y R. Nola (2011), "A family resemblance approach to the nature of science for science education", *Science & Education,* vol. 20, núms. 7-8, pp. 591-607.
Irzik, G., y R. Nola (2014), "New directions in nature of science research", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 999-1021.
Jenkins, E. W. (1999), "Practical work in school science: Some questions to be answered", en J. Leach y A. C. Paulsen (coords.), *Practical Work in Science Education: Recent Research Studies,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 19-32.
Johnson-Laird, P. N. (1983), *Mental Models,* Cambridge, Harvard University Press.
Jung, W. (1994), "Preparing students for change: The contribution of the history of physics to physics teaching", *Science & Education,* vol. 3, núm. 2, pp. 99-130.
———— (2012), "Philosophy of science and education", *Science & Education,* vol. 21, núm. 8, pp. 1055-1083.
Kang, N. H. (2008), "Learning to teach science: personal epistemologies, teaching goals, and practices of teaching", *Teaching and Teacher Education,* vol. 24, pp. 478-498.
Kant, I. (1787/1933), *Critique of Pure Reason,* 2ª ed., trad. de N. K. Smith, Londres, Macmillan (1ª ed., 1781). [Hay edición en español: *Crítica de la razón pura,* Madrid, Tecnos, 2004.]
Khiue, M. S. (coord.) (2012), *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies,* Dordrecht, Springer.
Klopfer, L. E. (1969), "The teaching of science and the history of science", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 6, pp. 87-95.
Lakatos, I. (1978), "History of science and its rational reconstructions", en J. Worrall y G. Currie (coords.), *The Methodology of Scientific Research Programmes,* vol. I, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 102-138 (publicado originalmente en 1971).
Lederman, N. G. (2004), "Syntax of nature of science within inquiry and science instruction", en L. B. Flick y N. G. Lederman (coords.), *Scientific Inquiry and Nature of Science,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 301-317.
———— (2007), "Nature of science: Past, present and future", en S. K. Bell y N. G. Lederman (coords.), *Handbook of Research on Science Education,* Mahwah, Lawrence Erlbaum, pp. 831-879.
Lederman, N., F. Abd-el-Khalick, R. L. Bell y R. S. Schwartz (2002), "Views of

nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conception of the nature of science", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 39, pp. 497-521.

Lederman, N. G., S. A. Bartos y J. Lederman (2014), "The development, use, and interpretation of nature of science assessments", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 971-997.

Lindberg, D. C., y R. L. Numbers (coords.) (1986), *God and Nature: Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science,* Berkeley, University of California Press.

Mach, E. (1883/1960), *The Science of Mechanics,* LaSalle, Open Court Publishing.

Mach, E. (1886/1986), "On instruction in the classics and the sciences", en *Popular Scientific Lectures,* La Salle, Open Court Publishing, pp. 338-374.

Martin, M. (1972), *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis,* Nueva York, Scott Foresman (reimpreso por University Press of America, 1985).

———— (1974), "The relevance of philosophy of science for science education", *Boston Studies in Philosophy of Science,* vol. 32, pp. 293-300.

Matthews, M. R. (1997), "James T. Robinson's account of philosophy of science and science teaching: Some lessons for today from the 1960s", *Science Education,* vol. 81, núm. 3, pp. 295-315.

———— (1998), "In defense of modest goals for teaching about the nature of science", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 35, núm. 2, pp. 161-174.

———— (2000a), *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy,* Nueva York, Kluwer Academic Publishers.

———— (2000b), "Constructivism in science and mathematics education", en D. C. Phillips (coord.), *National Society for the Study of Education 99th Yearbook,* Chicago, National Society for the Study of Education, pp. 161-192.

———— (2004), "Thomas Kuhn and science education: What lessons can be learnt?", *Science Education,* vol. 88, núm. 1, pp. 90-118.

———— (2012), "Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS)", en M. S. Khine (coord.), *Advances in Nature of Science Research,* Dordrecht, Springer, pp. 3-26.

———— (2014), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* 3 vols., Dordrecht, Springer.

McComas, W. F. (coord.) (1998a), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

———— (1998b), “The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths”, en W. F. McComas (coord.), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 53-70.

———— (2014), “Nature of science in the science curriculum and in teacher education programmes in the United States”, en M. R. Matthews (coord.), *International Hanbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1993-2023.

Meehl, P., y K. MacCorquodale (1948), “On a distinction between hypothetical constructs and intervening variables”, *Psychological Review,* vol. 55, pp. 95-107.

Nanda, M. (2003), *Prophets Facing Backward. Postmodern Critiques of Science and Hindu Nationalism in India,* New Brunswick, Rutgers University Press.

Needham, J., y W. Ling (1954-1965), *Science and Civilisation in China,* vols. 1-4, Cambridge, Cambridge University Press.

Niaz, M. (2009), *Critical Appraisal of Physical Science as a Human Enterprise: Dynamics of Scientific Progress,* Dordrecht, Springer.

Niaz, M. (2010), *Innovating Science Teacher Education: A History and Philosophy of Science Perspective,* Nueva York, Routledge.

Nola, R., y G. Irzik (2005), *Philosophy, Science, Education and Culture,* Dordrecht, Springer.

Norris, S. P. (1985), “The philosophical basis of observation in science and science education”, *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 22, núm. 9, pp. 817-833.

———— (1997), “Intellectual independence for nonscientists and other content-transcendent goals of science education”, *Science Education,* vol. 81, núm. 2, pp. 239-258.

Passmore, C., J. Svoboda-Goueva y R. Giere (2014), “Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1171-1202.

Reiss, M. (2014), “What significance does christianity have for science education?”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1637-1662.

Robinson, J. T. (1968), *The Nature of Science and Science teaching,* Belmont, Wadsworth.

Rutherford, F. J. (1972), “A humanistic approach to science teaching”, *National Association of Secondary School Principals Bulletin,* vol. 56, núm. 361, pp. 53-63.

——— (2001), “Fostering the history of science in American science education: The role of Project 2061”, *Science & Education,* vol. 10, núm. 6, pp. 569-580.

Schulz, R. M. (2009), “Reforming science education: Part I. The search for a philosophy of science education”, *Science & Education,* vol. 18, núms. 3-4, pp. 225-249.

——— (2014), “Philosophy of education and science education: A vital but underdeveloped relationship”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1259-1315.

Schwab, J. J. (1949), “The nature of scientific knowledge as related to liberal education”, *Journal of General Education,* vol. 3, pp. 245-266. Reproducido en I. Westbury y N. J. Wilkof (coords.), *Joseph J. Schwab: Science, Curriculum, and Liberal Education,* Chicago, University of Chicago Press, 1978, pp. 68-104.

Schwartz, R., y N. Lederman (2008), “What scientists say: Scientists’ views of nature of science and relation to science context”, *International Journal of Science Education,* vol. 30, núm. 6, pp. 727-771.

Stenhouse, D. (1985), *Active Philosophy in Education and Science,* Londres, Allen & Unwin.

Stinner, A. (1989), “The teaching of physics and the contexts of inquiry: From Aristotle to Einstein”, *Science Education,* vol. 73, núm. 5, pp. 591-605.

Taber, K. S. (2009), *Progressing Science Education: Constructing the Scientific Research Programme into the Contingent Nature of Learning Science,* Dordrecht, Springer.

——— (2014), “Methodological issues in science education research: A perspective from the philosophy of science”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1839-1893.

Tsai, C.-C. (2003), “The interplay between philosophy of science and the practice of science education”, *Curriculum and Teaching,* vol. 18, pp. 27-43.

Westaway, F. W. (1929), *Science Teaching,* Londres, Blackie.

Whewell, W. (1855), “On the influence of the history of science upon intelectual education”, *Lectures on Education Delivered at the Royal Institution on Great Britain,* Londres, J. W. Parker.

XII. LA FILOSOFÍA Y LA FORMACIÓN DE MAESTROS[1]

En este capítulo se defenderá la idea de que para que los maestros de ciencias puedan ser auténticos educadores (y no meros entrenadores, instructores o profesores de una materia) necesitan habilidades apropiadas para su materia, destrezas fundamentales —sobre todo filosóficas— y conocimientos sobre historia y filosofía de la ciencia y, finalmente, desarrollar una sólida filosofía de la educación. No puede hacerse todo al mismo tiempo, pero en cada área de los programas de formación de maestros pueden realizarse avances que se enriquezcan con el tiempo.

Todos concuerdan en que para tener una buena enseñanza es indispensable contar con maestros inteligentes, informados y capaces de motivar a sus alumnos, que conozcan bien su materia, se preocupen por los niños, tengan interés y habilidades para la educación, conozcan las nuevas tecnologías —en línea y otras— y que enseñen de forma atractiva. Además, cada vez es más común que los maestros deban hacer más que enseñar y entusiasmar a otros con su materia: tienen que desarrollar planes de estudio locales o interpretar planes nacionales o estatales para su uso local, formar parte de la gobernanza de la escuela y del diseño de políticas que determinan qué materias se enseñan en la escuela, a qué alumnos y a qué nivel, etc. Y, por supuesto, tienen que tratar con los alumnos, los padres y los administradores sobre un amplio abanico de asuntos que van más allá de las aulas. Para realizar todas estas tareas, tan complejas e importantes, se necesitan buenos maestros, bien preparados, que puedan hacer muchas cosas, en muchos frentes, con muchas personas. Sin embargo, hay menos consenso en torno a cuál es la mejor manera de preparar a estos maestros (Yager y Penick, 1990). Lo que se necesita es algún propósito coherente que sirva como guía y estándar para su labor. Charles Silberman identificó bien este problema cuando escribió, hace 40 años, sobre la crisis que vivía por entonces la educación en Estados Unidos:

> La tarea central de la formación de maestros es, pues, otorgarles un sentido de propósito, o una filosofía de la educación, por así decirlo. Esto significa que debe desarrollarse la capacidad y el deseo del maestro de pensar en forma seria, profunda y permanente sobre los propósitos y las consecuencias de su labor: sobre las formas en las que el plan de estudio y los métodos de enseñanza, la organización del aula y de la escuela, los procedimientos de evaluación y calificación, inciden en su propósito y a su vez son afectados por él [Silberman, 1970, p. 472].

Como todos los maestros, los de ciencia deben pensar “en forma seria y profunda” sobre la materia que enseñan; es otra forma de decir que todos los maestros deben pensar sobre la historia y la filosofía de su materia. Los maestros requieren una brújula educativa, pero existen muchas y todas apuntan en direcciones distintas. La filosofía es

necesaria para fabricar una brújula educativa que apunte hacia el norte educativo; esto puede contribuir a formar la identidad del maestro como un auténtico educador y a mejorar su prestigio social, y sirve como guía en la infinidad de decisiones profesionales que debe tomar. Se ha debatido durante mucho tiempo cómo la creación y la corrección de esta brújula influyen en la formación de maestros; la discusión ha estado cruzada por intereses profesionales y académicos profundamente arraigados y por los intereses políticos y económicos que se ciernen sobre casi todas las decisiones de esta clase.[2]

En 1986, se publicaron en Estados Unidos dos reportes sobre la formación de maestros que provocaron el debate sobre el tema: *A Nation Prepared* [Una nación preparada], de la Carnegie Foundation, y *Tomorrow's Teacher* [El maestro del mañana], del grupo Holmes (Fraser, 1992). Hay un abanico de opiniones sobre cuál es la mejor forma de organizar los programas de formación de maestros. Algunos países no exigen ninguna capacitación; otros apenas una mínima: sólo toman a los graduados de carreras científicas interesados o a quienes trabajan en profesiones conexas y los llevan a las escuelas en calidad de aprendices. Esto ha ocurrido en Estados Unidos, con los programas "Teach for America" [Enseña por América] y en el Reino Unido, donde el gobierno ha buscado evitar en parte la formación universitaria de maestros a favor de una modalidad decimonónica de aprendizaje: el aprendizaje *in situ* (Hirst, 2008). Sin embargo, lo más común sigue siendo exigir una capacitación formal para los maestros (Darling-Hammond, 1999).

Allí donde a los maestros en potencia se les exigen estudios universitarios, el contenido de la capacitación ha sido polémico. La formación universitaria para maestros consiste, típicamente, en materias teóricas o básicas (por lo general, filosofía, sociología y psicología de la educación) y estudios aplicados o pedagógicos (estudios curriculares y métodos y prácticas de enseñanza). Durante las últimas cuatro décadas la tendencia ha sido privilegiar los últimos a expensas de los primeros.[3] Sobre los requisitos de la Ley de Educación de 1994 del Reino Unido, Paul Hirst observa que: "Estas restricciones, que insisten en la relevancia práctica directa de todos los cursos de educación, han provocado la extinción casi total de los cursos que se ocupan en forma específica de las disciplinas de teoría educativa en las universidades británicas" (Hirst, 2008, p. 309).

Así, por ejemplo, el reciente *Handbook of Research on Teachers and Teaching* [Manual de investigación sobre maestros y enseñanza] (Saha y Dworkin, 2009), con 76 capítulos, no tiene ninguna entrada para "estudios básicos", ni para cualquier otra disciplina teórica. Este capítulo sugerirá algunas formas en las que los programas de filosofía y psicología con contenidos de historia y filosofía de la ciencia pueden sustituir o enriquecer las bases que suelen ofrecerse y disminuir enormemente la "irrelevancia" de la que los alumnos se quejan con frecuencia. Estudiar más historia y filosofía de la ciencia puede enriquecer tanto los métodos y los planes de estudio estándar como los cursos de

formación. En cierta forma, se trata de caballos de Troya que sirven para introducir la filosofía necesaria en la formación de maestros.

Todos los maestros se enfrentan a preguntas filosóficas. Algunas ocurren en forma individual en la interacción entre maestros y alumnos (¿cuál es la forma correcta de aplicar la disciplina en clase?), otras al nivel del aula (¿cuáles deberían ser los objetivos de la enseñanza de las matemáticas?), otras al nivel de la escuela (¿las clases deberían organizarse según las capacidades de los alumnos o es adecuado tener varios niveles en una misma clase?) y unas más en el nivel del sistema (¿los gobiernos deberían financiar las escuelas privadas y, si es así, con qué criterios?). Algunas de las preguntas más habituales que enfrentan los maestros, y que requieren diversos grados de aportes de la filosofía, son: ¿Cómo desarrollar y defender objetivos educativos específicos? ¿Cómo distinguir el adoctrinamiento de la educación y cómo determinar el objetivo legítimo de esta última? ¿Qué requisitos de respeto mutuo existen entre maestros y alumnos? ¿Cuáles son los límites de la independencia profesional de los maestros? ¿Los maestros deberían dar a conocer sus posturas personales cuando enseñan "temas polémicos"? ¿Deberían buscar convencer a los alumnos de que adopten sus opiniones sobre estos temas? ¿Cuáles son las bases para incluir y excluir temas de los planes de estudio? ¿Cuál es la autoridad legítima del Estado, la Iglesia, las empresas, los consejos escolares, los padres y otros interesados en el diseño de planes de estudio, evaluaciones y selección de libros de texto? ¿Hasta dónde llega la incidencia de la cultura y la tradición sobre los procesos educativos? ¿Cómo puede armonizar la escuela los propósitos rivales de transmisión de cultura y reforma de la cultura? ¿Qué justificaciones éticas y políticas existen para la infinidad de decisiones referentes al financiamiento, la dotación de personal y la conformación de grupos?

Estas preguntas filosóficas, normativas y no empíricas afectan del mismo modo a todos los maestros, sin importar si enseñan matemáticas, música, economía, historia, literatura, teología y cualquier otra cosa dentro de un entorno institucional. Mientras más informada, reflexiva y sofisticada sea la relación de un maestro con estas preguntas generales, más profesional será y estará mejor preparado. La necesidad de que los maestros cuenten con esta preparación ha justificado, por mucho tiempo, la inclusión de la filosofía de la educación en los programas de capacitación y de formación continua de maestros; resulta evidente que los cursos aplicados y formularios de manejo de clase no ofrecen una guía útil para estas preguntas. Por supuesto, justificar la necesidad de la filosofía no siempre ha llevado a que se incluya; en la educación, los argumentos correctos suelen ponerse en la balanza con otro tipo de consideraciones.

Las preguntas y relaciones que hemos mencionado pertenecen a lo que puede llamarse la filosofía general de la educación, un tema que tiene un pasado largo y distinguido al que ha contribuido un equipo de filósofos y pedagogos muy famosos, tales como Platón, Aristóteles, santo Tomás de Aquino, Locke, Mill, Whitehead, Russell,

Dewey, Peters, Hirst y Scheffler (por mencionar únicamente una alineación occidental). Estos temas generales pueden encontrarse, aumentados y discutidos, en las principales revistas de investigación de este campo, tales como *Educational Philosophy and Theory, Studies in Philosophy and Education* y *Journal of Philosophy of Education and Educational Theory*; en las actas de las conferencias anuales de diferentes sociedades nacionales de filosofía de la educación, en particular las de Estados Unidos y el Reino Unido; en manuales voluminosos como *The Blackwell Companion to the Philosophy of Education* (Curren, 2003) y *The Oxford Handbook of Philosophy of Education* (2009), y en muchos libros importantes que se han publicado a lo largo de los últimos 60 años.

Un rasgo notable, aunque deprimente, de la filosofía formal de la educación ha sido su abandono de la enseñanza de la ciencia y de las consideraciones filosóficas específicas que son relevantes para la enseñanza de la ciencia. El enorme *corpus* de filosofía analítica de la educación, que dominó el campo profesional durante las últimas décadas del siglo XX, carece casi por completo de preguntas referentes a la enseñanza de la ciencia, o de análisis con contenidos de historia y filosofía de la ciencia. Por ejemplo, en los importantes libros de Richard Peters, que en buena medida definieron el campo (Peter, 1959, 1966, 1967, 1973, 1974), no se hace mención de estos temas, y tampoco en colecciones como la importante antología en tres volúmenes *Education and the Development of Reason* [La educación y el desarrollo de la razón] (Dearden *et al.,* 1972), que sirvió como insignia para la filosofía analítica de la educación. Estos libros y sus bibliografías asociadas fueron los contenidos esenciales de filosofía en los programas de formación de maestros, incluidos los de maestros de ciencia. El abandono de la ciencia y la historia y la filosofía de la ciencia son más desconcertantes en la medida en que en la era post *Sputnik* en todo el mundo comenzaron a revisarse los planes de estudio de ciencia, y si se toma en cuenta que la historia y la filosofía de la ciencia tuvieron su propio "momento *Sputnik*" con la publicación de *La estructura de las revoluciones científicas* de Kuhn (Kuhn, 1962/1970) y el posterior tsunami de estudios académicos que barrieron con *todas* las instituciones universitarias. Era de esperarse que la filosofía formal de la educación tendiera lazos tanto con las actividades curriculares científicas como con las académicas de la historia y la filosofía de la ciencia pero, salvo algunas excepciones, esto no ocurrió.[4]

Una excepción es Peter Nidditch, el estudioso de Hume, que contribuyó con el último artículo de la antología *New Essays in the Philosophy of Education* [Nuevos ensayos sobre la filosofía de la educación] (Nidditch, 1973), titulado "Philosophy of education and the place of science in the curriculum" [Filosofía de la educación y el lugar de la ciencia en el plan de estudios]. David Stenhouse publicó un libro sobre filosofía de la educación y la enseñanza de la ciencia (Stenhouse, 1985). Denis Phillips, expresidente de la US Philosophy of Education Society (PES), publicó varios textos importantes en este

campo (Phillips, 1981, 2000). Harvey Siegel, otro expresidente de la PES y alumno de Israel Scheffler, publicó asimismo artículos importantes sobre temas de enseñanza de la ciencia (Siegel, 1978, 1979, 1989, 1993). Una excepción más al descuido o la indiferencia de los filósofos hacia la ciencia fueron los escritos pedagógicos de Israel Scheffler (Scheffler, 1973), también un importante filósofo de la ciencia (Scheffler, 1963b, 1966/1982), y sobre cuyo trabajo se profundiza más adelante.

La buena filosofía siempre se ha ocupado de refinar las ideas y de mejorar su comprensión, de modo que ha concedido un lugar importante a la comunicación clara, un prerrequisito para lograr estos progresos; la formación de maestros y los programas de posgrado deberían apreciar y fomentar estas mismas metas. La tradicional pregunta socrática, "¿A qué te refieres con…?" debe cultivarse en la enseñanza de la ciencia, donde hay demasiados mensajes poco claros y en ocasiones totalmente ininteligibles. Hace 40 años, Paul Wagner y Christopher Lucas dijeron esto al respecto:

> Argumentaremos que para poder acercarnos a las metas generales de la enseñanza de la ciencia que citamos antes debe prestársele una atención minuciosa al uso del análisis filosófico como un recurso pedagógico para la enseñanza de la ciencia. Esta tesis equivale a lo que sigue: el cuestionamiento filosófico debe anteceder o acompañar la participación de los niños en actividades científicas en la enseñanza básica, el lugar en el que se sientan las bases para el aprendizaje científico posterior [Wagner y Lucas, 1977, p. 550].

En el nivel más elemental, esto equivale a ser cuidadoso con el lenguaje, estar consciente de qué significan las palabras y tratar de ser claro e inequívoco durante la comunicación. El pensamiento y la práctica científica sólo pueden prosperar cuando se cultiva y valora esta sensibilidad analítica básica a un nivel apropiado para la madurez de los alumnos; a la inversa, allí donde prevalece la escritura descuidada y el uso de la jerga especializada, se demoran el pensamiento y la práctica científicos.

Tener cuidado con lo que se comunica no es una idea moderna. Thomas Sprat, en su *History of the Royal Society of London, for the Improving of Natural Knowledge* [Historia de la Royal Society de Londres, para el perfeccionamiento del conocimiento natural], de 1667, pensó que valía la pena dirigir la atención a "La forma de su discurso":

> Hay una cosa más sobre la cual la Sociedad se ha mostrado lo más diligente, y que es la forma de su discurso […] Han exigido que todos sus miembros usen una forma de hablar cercana, desnuda, natural; expresiones positivas; sentidos claros, una soltura nativa: llevar todas las cosas tan cerca de la sencillez matemática como puedan; y preferir el lenguaje de los artesanos, campesinos y comerciantes, que el de las personas de ingenio o los estudiosos [Sprat, 1667/1966, pt. II, SCC. xx].

Hoy, 350 años después, la enseñanza de la ciencia se beneficiaría enormemente si los académicos tuvieran en cuenta el consejo de la Royal Society de hablar con sencillez. Considérese el siguiente texto:

> La danza de la agencia, vista asimétricamente del fin humano, adopta así la forma de una *dialéctica de la resistencia y del acomodamiento,* donde la resistencia denota la incapacidad de alcanzar la captura pretendida de la agencia en la práctica, y el acomodamiento una estrategia humana activa de respuesta a la resistencia, que puede incluir revisiones a los objetivos y a las intenciones así como a la forma material de la máquina en cuestión y al marco humano de gestos y relaciones sociales que la rodean [Pickering, 1995, p. 22].

Hay que hacer un gran esfuerzo para entender qué afirma esta oración de 86 palabras, si es que en efecto afirma algo. O considérese:

> Sólo un cuerpo sensible vivo/vivido —uno que puede sentirse a sí mismo moverse gracias al autoafecto, uno que tiene un conocimiento práctico de la coordinación que ocurre con el sentido del automovimiento y la sensación mediante los sentidos externos— puede ser un cuerpo de conocimiento […] La unidad e identidad de los fenómenos sensoriales no ocurren mediante una síntesis de reconocimiento en el concepto, como lo concebiría un enfoque intelectualista, sino que su unidad se construye sobre la unidad de identidad del cuerpo vivo/vivido (carne) como un conjunto sinérgico [Roth, 2011, p. 233].

Aquí el significado, en la medida en que exista uno, es aún menos claro. Considérese también:

> Si, por el otro lado, comenzamos con el supuesto ontológico de diferencia que existe en sí mismo, es decir, con el reconocimiento de que A ↓ A (por ejemplo, porque distintas gotas de tinta se fijaron a distintas partículas de papel en diferentes momentos), entonces toda la semejanza y la identidad es resultado del trabajo que no sólo vuelve iguales dos cosas, conceptos o procesos, sino también borra las diferencias inherentes e inevitables que de hecho existen. Este supuesto es una parte insidiosa de la epistemología falogocéntrica que afianza la ciencia como el método para descomponer sistemas unitarios en conjuntos de variables, que nunca pueden ser más que expresiones externas, unilaterales de una unidad superordenada [Roth y Tobin, 2007, pp. 99-100].

Lo que se afirma en estas 113 palabras es un misterio que posiblemente se encuentra más allá de toda posibilidad de traducirlo al lenguaje de los artesanos, los campesinos y los comerciantes. Estas aseveraciones ininteligibles abundan. Considérese la siguiente afirmación, que aparece en un importante manual de enseñanza de la ciencia:

> Si bien se usan diferentes "metodologías", lo artesanal se encubre dentro de un compromiso teórico crítico con la justicia social y un respaldo pedagógico crítico que combina la teoría, el discurso, la identidad y lo político […] La sinergia de la conversación entre la artesanía de la investigación y la teoría crítica implica una interacción entre la práctica de lo crítico y la incertidumbre radical de lo que suele llamarse lo posmoderno [Steinberg y Kincheloe, 2012, p. 1492].

El significado de ese párrafo es esquivo, por decir lo menos, lo que resulta doblemente lamentable cuando se supone que se está defendiendo la justicia social. Para la justicia social siempre es mejor la claridad, estar expresada en el lenguaje de los artesanos. Considérese lo que sigue:

> Durante los últimos 25 años del siglo XX el campo curricular sufrió una transformación paradigmática. La hegemonía de la investigación positivista y la visión monocromática del desarrollo curricular fueron derrocadas mediante un triunvirato de análisis político, estudios fenomenológicos y pensamiento psicoanalítico basado en el género [Sears, 2003, p. 227].

Aunque cuesta bastante trabajo es posible determinar el significado de este párrafo, si bien la escritura está llena de lugares comunes y jerigonza. Esta forma de escribir puede

sonarle bien a los conversos, pero no hace mucho por mejorar la reputación de los pedagogos entre los ciudadanos, los maestros o los funcionarios.

La razón de destacar estos ejemplos es que no son más que algunas señales de una enfermedad que amenaza el saber y la comprensión, no sólo en educación sino en todos los ámbitos académicos. Hay una infinidad de ejemplos más en los libros y las revistas de pedagogía de la ciencia.[5] La forma en la que Stephen Shapin describe esta plaga en la disciplina de la historia de la ciencia se aplica igualmente a la enseñanza de la ciencia.

> Pero el problema sobre el cual vale la pena llamar la atención es una forma particular de mala escritura que es, por así decirlo, institucionalmente deliberada. Los iniciados aprenden a escribir mal como distintivo de su profesionalismo; se resisten a usar términos coloquiales porque no suenan lo suficientemente inteligentes; infieren que lo enigmático debe ser profundo. Es verdad que algunas cosas son difíciles de decir en inglés ordinario, pero no tantas como fingen los académicos [Shapin, 2005, p. 239].

Daniel Dennett reproduce una conversación con Michel Foucault que aprehende bien este mal académico:

> "Michel, si eres tan claro cuando conversas, ¿por qué tu escritura resulta tan impenetrable?" A lo que Foucault respondió: "Eso es porque, para ser tomado en serio por los filósofos franceses, 25% de lo que escribes tiene que ser una jerigonza ininteligible" [Dennett, 2006, p. 405].

Dennett acuña un nuevo término para esta degradación del lenguaje: *eumerdificación,* un neologismo cuya traducción será mejor dejar en manos del lector.

En una amplia crítica de la filosofía posmodernista (en la que incluye a posestructuralistas, deconstructivistas, programadores fuertes y feministas antirracionalistas), Nicholaes Shackel llama la atención hacia el persistente uso de ardides lingüísticos y retóricos para sonar convincentes:

> Muchas de las doctrinas filosóficas que han aportado los posmodernistas se han refutado de forma categórica, y sin embargo la gente sigue dejándose atrapar por una serie de artilugios fraudulentos que se emplean para promocionar el posmodernismo. Cansa un poco tener que repetir la misma clase de refutaciones cada vez que hace su aparición una de estas maniobras [Shackel, 2005, p. 295].

No todo puede o debe expresarse en términos sencillos; el progreso intelectual requiere nuevos conceptos y el uso de palabras nuevas o redefinidas —"plusvalor", "liberación'", "selección natural", "inercia", "velocidad", "aceleración", "oxígeno", etc. —. Sin embargo, "¿Qué quiere decir eso?" es una pregunta que debe formularse al respecto de todos estos términos; preguntar es un hábito filosófico básico que merece ser cultivado tanto en la formación de maestros como en los programas de posgrado. Escrituras como la de los autores antes citados, y los géneros que representan, se verían beneficiados por la aplicación rutinaria de esta práctica filosófica básica, del "lento y tedioso método", como lo llamó Hume. Si se aplicara en forma lo suficientemente

generalizada, este método podría curar la enfermedad del oscurantismo.

La filosofía analítica tenía sin duda sus problemas, pero también la virtud de valorar los mensajes claros y directos, ambas características importantes para la ciencia y para la enseñanza de la ciencia. Considérense los fragmentos citados en el cuadro XII.1 y su traducción al "lenguaje de los artesanos, los campesinos y los comerciantes".

Para los alumnos, es un ejercicio útil coleccionar estos ejemplos y realizar traducciones al lenguaje "cotidiano" para determinar qué se gana y qué se pierde en el proceso.[6] Por supuesto, se perderán algunas cosas, como ocurre con cualquier traducción, pero el objetivo de la tarea es determinar si la ganancia comunicativa es mayor a la pérdida. En principio, no hay ningún problema con los vocabularios especializados y los términos teóricos: las ciencias naturales están llenas de ellos, y deben aprenderse cuando las circunstancias lo requieran, pero si bien las ciencias naturales usan términos teóricos para simplificar asuntos complejos (muchos movimientos distintos pueden unificarse como fenómenos magnéticos), las ciencias sociales, al menos los ejemplos del cuadro XII.1, usan supuestos términos teóricos para transformar asuntos sencillos en unos más complejos, para ofuscar.

CUADRO XII.1. *Traducciones al habla coloquial*

Academiqués	*Traducción al habla coloquial*
Puesto que la coparticipación implica la negociación de un lenguaje compartido, el foco se encuentra en sostener un sistema dinámico en el que los recursos discursivos evolucionan en una dirección que se ve limitada por los valores de la cultura mayoritaria al tiempo que demuestra respeto por el habitus de los participantes de las culturas minoritarias, y en todo momento evita la debilitación de la violencia simbólica (Tobin, 1998, p. 212).	Enseña de forma sensible los valores culturales.
Encontrar significados es así un proceso dialógico que involucra a personas en conversación, y el aprendizaje se considera el proceso mediante el cual a los individuos se les presenta una cultura por parte de miembros con mayores habilidades. Cuando esto ocurre, ellos se "apropian" de las herramientas culturales mediante su involucramiento en las actividades de esta cultura (Driver *et al.*, 1994, p. 7).	Los alumnos necesitan la ayuda de los maestros cuando aprenden conceptos nuevos.
[El constructivismo] sugiere un rasgo en común entre los estudiantes de ciencia y los investigadores científicos, puesto que ambos tratan de entender las perturbaciones en sus realidades experienciales respectivas (Taylor, 1998, p. 1114).	Los alumnos y los científicos consideran hacer ajustes a sus ideas cuando se enfrentan con anomalías.
Al hablar desde la perspectiva sociocultural, definimos la negociación como un proceso de mutua apropiación en la cual el maestro y los alumnos se apropian o usan las contribuciones del otro (Cobb, 1994, p. 14).	Los maestros y los alumnos intercambian ideas.
El camino de la objetividad constituida en esencia acoge una variedad de visiones del mundo, y reconoce así el camino de la objetividad trascendental como legítimo, porque aunque uno simule hacer observaciones con una objetividad trascendental, la praxis humana dentro de la cual se hacen estas observaciones sigue siendo un camino de objetividad constituida (Maheus *et al.*, 2010, p. 218).	Es imposible hacer observaciones imparciales.
Las actividades, o más bien, los motivos mediados socialmente no consiguen realizarse; se requieren metas concretas para dirigir a los sujetos humanos individuales hacia la realización de las actividades en las que participan y de las cuales son momentos constitutivos (Roth, 2007, p. 165).	Las personas actúan cuando tienen razones sólidas para hacerlo.

Los ejemplos que hemos incluido en este apartado, y otros de su clase, son el tipo de escritura que llevó a Isaiah Berlin (1909-1997) a quejarse de que:

La retórica pretenciosa, la opacidad o vaguedad deliberada o compulsiva, las habladurías metafísicas atiborradas de referencias irrelevantes o engañosas a teorías científicas o filosóficas entendidas a medias (en

el mejor de los casos) o a nombres famosos, es un artilugio viejo pero actualmente muy prevalente para disfrazar la pobreza o la confusión del pensamiento que a veces se acerca peligrosamente a una estafa [Berlin, 2000, p. 221].

Sin embargo, como ocurre con la filosofía *general* de la educación, existe la necesidad de una filosofía *disciplinar* de la educación, y para la enseñanza de la ciencia esta filosofía depende de la historia y filosofía de la ciencia. Algunas de las preguntas disciplinares son *internas* a la enseñanza de la materia y pueden llamarse “filosofía *para* la enseñanza de la ciencia”. Se trata de preguntas como: ¿Existe un solo método científico? ¿Cuál es el objetivo de la ciencia? ¿Qué es una explicación científica? ¿Los postulados observacionales pueden separarse de los postulados teóricos? ¿Los resultados experimentales son inductiva, deductiva o abductivamente relevantes para las hipótesis que se ponen a prueba? ¿Qué formas legítimas e ilegítimas existen para rescatar teorías ante evidencias en contrario? Otras preguntas disciplinares son *externas* a la materia y pueden ser llamadas “filosofía de la enseñanza de la ciencia”. En este caso, las preguntas pueden ser: ¿Puede justificarse que la ciencia sea una materia obligatoria en la escuela? ¿Qué caracteriza los “hábitos mentales” científicos o el “temperamento científico”? ¿Cómo pueden reconciliarse afirmaciones opuestas de la ciencia y la religión? ¿El conocimiento local o indígena debería enseñarse en lugar de la ciencia ortodoxa, o en forma simultánea, o no enseñarse en absoluto? Sin duda, quienes enseñan otras materias —matemáticas, economía, música, arte, religión— se enfrentan al mismo tipo de preguntas.

Los maestros tienen teorías del conocimiento, o epistemologías, que influyen y son influidas a su vez por su comprensión de la ciencia. Estas imágenes y formas de comprender la ciencia serán transmitidas a sus alumnos, y pesarán sobre las decisiones que tomen los maestros en la elección de libros de texto, los planes de estudio, la preparación de las lecciones, la evaluación y otros asuntos pedagógicos. La epistemología de los maestros es una parte relevante de su “conocimiento didáctico del contenido”, que Lee Shulman ha identificado como un elemento importante para la enseñanza efectiva (Shulman, 1986, 1987) y que se discute en el capítulo IV. El conocimiento didáctico del contenido que posea el maestro influye en la forma en la que los alumnos entienden la ciencia mucho después de que han olvidado los detalles de lo que se enseñó en clases específicas de biología, química o física.

Durante mucho tiempo, se ha argumentado que la historia y filosofía de la ciencia deberían formar parte de la formación de los maestros de ciencia. En el Reino Unido, el *Thompson Report* de 1918 afirma que “Todos los maestros de las escuelas secundarias deberían estar equipados con algunos conocimientos sobre la historia y la filosofía de la ciencia” (Thompson, 1918, p. 3). El argumento del periodo de entreguerras que defendieron Westaway y Holmyard se mencionó en el capítulo III. Un estudio de 1981 sobre el papel de la filosofía de la ciencia en la formación de maestros de ciencia en Gran Bretaña dice:

> Esta formación más filosófica que se propone para los maestros les permitiría, si es adoptada, organizar su enseñanza de la ciencia en forma más versátil e informada y encontrarse en una posición más efectiva para ayudar a sus alumnos a construir una imagen coherente de la ciencia —apropiada para su edad y capacidades —, de la que con gran frecuencia se carece [Manuel, 1981, p. 771].

Todo esto equivale a una defensa de la filosofía *disciplinar* de la enseñanza de la ciencia. Para enseñar ciencia en forma efectiva y empática, los maestros deben estar comprometidos con la historia y filosofía de la ciencia.

Hace 40 años, Israel Scheffler, que tenía en Estados Unidos un puesto doble en filosofía y en educación, propugnó por incluir en la formación de los maestros de ciencia clases de filosofía de la ciencia. Era parte de una defensa más amplia de la inclusión de clases de filosofía de las disciplinas particulares en los programas que preparan personas para enseñarlas. Su propuesta era que “las filosofías-de constituyen un aporte adicional deseable para la preparación de los maestros, más allá de sus aptitudes temáticas, su práctica en la enseñanza y su metodología didáctica” (Scheffler, 1970, p. 40). Resumió así su argumento:

> He esbozado cuatro esfuerzos principales mediante los cuales las filosofías-de pueden contribuir a la enseñanza: *1)* La descripción analítica de formas de pensamiento representadas por los sujetos de la educación; *2)* la evaluación y la crítica de estas formas de pensamiento; *3)* el análisis de materiales específicos con el fin de sistematizarlos y exhibirlos como ejemplos de formas de pensamiento, y *4)* la interpretación de ejemplos particulares en términos accesible para los principiantes [Schefler, 1970, p. 40].

Cada una de estas contribuciones puede hacerse únicamente con base en los estudios históricos y filosóficos de la asignatura relevante.[7]

Unos años después, Michael Martin, un filósofo de la ciencia, argumentó y desarrolló estos puntos en su *Concepts of Science Education* [Conceptos de la enseñanza de la ciencia] (Martin, 1972). El libro de Martin está repleto de filosofía de la ciencia. Las referencias incluyen libros de Agassi, Bridgman, Carnap, Feyerabend, Hanson, Hempel, Kuhn, Lakatos, Nagel, Popper, Quine, Reichenbach y Scheffler, y usa sus ejemplos, argumentos y análisis para aclarar, en cinco capítulos, estos temas centrales: La investigación científica, La explicación, La definición, La observación y Las metas de la enseñanza de la ciencia. Estos temas son parte de todos los planes de estudio y toda enseñanza de la ciencia, y su importancia pedagógica habría resultado evidente para todos los maestros en formación, pero desafortunadamente los argumentos de Scheffler, Martin y los demás se le presentaron a un público casi inexistente: los pedagogos de ciencia no le prestaban atención a la historia o a la filosofía de la ciencia (Duschl, 1985), y tampoco lo hacían los filósofos de la educación.

Sin embargo, hubo excepciones, aunque no se usara explícitamente la terminología de la historia y filosofía de la ciencia. Hace 30 años, Lee Shulman, con su National Teacher Assessment Project, rechazó las mediciones conductistas y gerenciales de las habilidades

de los maestros, tan largamente arraigadas en las prácticas de evaluación. Preguntó por el "paradigma perdido", el dominio del tema y la habilidad de hacerlo inteligible para los alumnos. Para Shulman:

> Los maestros no sólo deben ser capaces de definir para los alumnos las verdades aceptadas en un ámbito del conocimiento. También deben poder explicar por qué se justifica una proposición, por qué vale la pena conocerla y cómo se relaciona con otras proposiciones, tanto dentro de la disciplina como fuera de ella, tanto en la teoría como en la práctica [Shulman, 1986, p. 9].

Éste es un componente central de su concepto de conocimiento didáctico del contenido, ampliamente aceptado, que se discutió en el capítulo IV. Pero para explicar por qué una proposición se considera justificada —por ejemplo, una proposición sobre la herencia genética, la conservación de la energía, la valencia del sodio o la forma de la Tierra— asume una epistemología de la ciencia. Esta epistemología incluirá temas comunes, tales como la evidencia, tanto empírica como no empírica, como se ha discutido en este libro, y consideraciones sobre el testimonio, puesto que la mayor parte de lo que cualquiera sabe sobre ciencia depende de que confíe en el testimonio de otros. Los maestros son responsables de un eslabón en la cadena del testimonio.[8] Los maestros que han reflexionado sobre algunas preguntas epistemológicas básicas y saben un poco sobre historia y sociología de la ciencia podrán explicar de forma mucho más clara por qué se justifica una proposición que aquellos que no han recibido esta capacitación.

En el Reino Unido existe una situación comparable. Susanne Lakin y Jerri Wellington, en su estudio sobre cuánto entienden sobre naturaleza de la ciencia los maestros en ese país, observaron que:

> El estudio arrojó como resultado la evidente falta de conocimientos de los maestros sobre la naturaleza y la historia de la ciencia […] Además del reconocimiento verbal de que su conocimiento era irregular y sus ideas no estaban bien formuladas, las señales no verbales reflejaron inseguridad cada vez que se inquirió a fondo sobre estos temas [Lakin y Wellington, 1994, p. 186].

También señalaron que "El resultado más evidente de la falta de reflexión fue la indiferencia hacia los aspectos culturales, morales y filosóficos de la ciencia". Se trata de una circunstancia que probablemente no se resuelva sino hasta que los estudios de historia y filosofía de la ciencia se conviertan en una parte rutinaria de la formación de maestros de ciencia y se cierre la brecha entre la comunidad de enseñanza de la ciencia y la comunidad de historia y filosofía de la ciencia. En Canadá, el Science Council de Canadá, tras abogar por un incremento en la atención que se presta a los temas de historia y filosofía de la ciencia en el plan de estudio de ciencia, dijo: "Si bien el Consejo no espera que se enseñe filosofía de la ciencia a los niños o a los adolescentes, sí espera que se capacite a los pedagogos de la ciencia en esta área" (Science Council of Canada, 1984, p. 37).

La formación de maestros no goza de una buena salud filosófica. A pesar de todas las inquietudes y los argumentos que conocemos hace tiempo y que se han documentado en este libro, las habilidades filosóficas, en particular en historia y filosofía de la ciencia, son inusuales en las escuelas que forman maestros, y no se hace mucho por fomentar su adquisición. En 1989, sólo 4 de 55 instituciones que capacitaban en Australia a maestros de ciencia ofrecían algún curso relacionado con la historia y filosofía de la ciencia. En 1990, de los 15 centros principales de formación de maestros de ciencia en Estados Unidos sólo la mitad, aproximadamente, exigía un curso de filosofía de la ciencia; la proporción en los cientos de centros restantes era mucho menor (Loving, 1991). La situación en el resto del mundo no es más alentadora. Es por ello que las nociones de historia y filosofía de la ciencia que tienen los maestros son las que aprenden en sus propias clases de ciencia, y rara vez se examinan o se refinan en forma consciente. Esta epistemología por ósmosis es muy poco deseable para la formación de algo tan importante para la práctica didáctica y tan importante para el desarrollo profesional.

La escasez de aportes serios de historia y filosofía de la ciencia en la formación de maestros de ciencia es deprimente y está muy bien documentada en el libro de Peter Fensham *Defining an Identity: The Evolution of Science Education as a Field of Research* [Definir una identidad: La evolución de la enseñanza de la ciencia como campo de investigación] (Fensham, 2004). El libro abre una ventana representativa e informada hacia la formación internacional de maestros de ciencia y al *ethos* de los posgrados de enseñanza de la ciencia. Fensham es uno de los pedagogos de la ciencia más respetado e influyente de los últimos 40 años (Cross, 2003). Su libro tiene como eje sus entrevistas con 79 importantes pedagogos de la ciencia de 16 países, entre los que se cuentan al menos 16 expresidentes de la National Association for Research in Science Teaching (NARST) y entre 10 y 15 editores o exdirectores de revistas de investigación de enseñanza de la ciencia internacionales. Los entrevistados han escrito o editado cientos de libros y miles de artículos de investigación, y han supervisado el mismo número de estudiantes de doctorado. Así, aunque el libro ofrece una muestra numéricamente muy pequeña de la profesión, constituye una muestra representativa de la actividad académica y justifica extrapolar sus conclusiones a una comunidad académica más amplia en la enseñanza de la ciencia. Fensham le pidió a los entrevistados que respondieran dos preguntas (Fensham, 2004, p. xiv):

- Cuénteme de dos de sus publicaciones en el área que le parezcan significativas.
- Cuénteme de tres publicaciones de otros autores que han tenido una gran influencia sobre su trabajo de investigación en este campo.

Pronto se hizo evidente que hay un problema fundamental con la idea de la "pedagogía de la ciencia como un campo de investigación": los investigadores en el campo están mal preparados para llevar a cabo su investigación. Uno de los entrevistados, importante en su campo, representa a la mayoría cuando responde: "Cuando comencé a dar clases, hace más de una década, acababa de terminar una maestría en física, pero no tenía ninguna preparación en psicología o metodología educativa" (Roth, 1993, p. 145).

Jay Lemke, a quien Fensham menciona como un investigador pionero sobre el efecto del lenguaje en el aprendizaje de la ciencia (Fensham, 2004, p. 201), también reconoce este problema, sobre el cual escribe: "Los investigadores de la enseñanza de la ciencia no suelen estar lo suficientemente bien entrenados en las disciplinas de las que se derivan las perspectivas socioculturales y los métodos de investigación. La mayor parte son autodidactas o han aprendido estos asuntos de otros que tampoco estaban plenamente preparados" (Lemke, 2001, p. 303).

Fensham observa en distintas ocasiones que los investigadores pioneros llegaron al área ya sea desde puestos de investigación en ciencias o desde posiciones escolares en la enseñanza. En ambos casos, eran excepcionales los investigadores que tenían alguna formación en psicología, sociología, historia o filosofía, las disciplinas fundacionales indispensables para la mayor parte de la investigación educativa seria. Menciona a Joseph Schwab, "un biólogo de formación filosófica", como una excepción (Fensham, 2004, p. 20).[9] Entre los pioneros no hay muchas otras excepciones.[10]

Este fracaso no fue corregido por la segunda generación de investigadores más jóvenes. De hecho, las cosas tal vez hayan empeorado, puesto que hay una proporción aún menor de investigadores en pedagogía de la ciencia que tienen la experiencia en investigación científica de la que gozaron los fundadores de la disciplina, Fensham entre ellos. Las entrevistas revelan que el patrón educativo predominante para los investigadores actuales consiste en salir de una carrera en ciencia, adquirir práctica enseñando en el aula y luego obtener un grado doctoral en enseñanza de la ciencia. Fensham observa: "Muchos países recorrerían, en los años siguientes, esta secuencia de enseñar ciencia en la escuela, desarrollar planes de estudio y obtener una educación terciaria en ciencia" (Fensham, 2004, p. 25).

La influencia de Ernst von Glasersfeld

La formación filosófica de los entrevistados es mínima, y está sesgada hacia el constructivismo. Muchos citan a Ernst von Glasersfeld como su "influencia más significativa". Fensham afirma que: "Los numerosos textos de Von Glasersfeld sobre el constructivismo personal han tenido una influencia muy amplia sobre los investigadores

de enseñanza de la ciencia […] En sus investigaciones suelen citarlo como una fuente general de información sobre el constructivismo" (Fensham, 2004, p. 5).

Esto no sorprenderá a la comunidad de enseñanza de la ciencia. Von Glasersfeld fue invitado a dar una conferencia magistral en la popular conferencia de la NARST de 1990, y en un gesto que no tiene precedentes la invitación se repitió para la conferencia de 1993. En los tres años que transcurrieron entre 1999 y 2001, su trabajo fue citado 42 veces en las cuatros principales revistas de enseñanza de la ciencia (Niaz *et al.,* 2003, p. 791).

La cantidad de citas no es suficiente para dar una imagen completa de la influencia de Von Glasersfeld; para ello es necesario observar el efecto que tienen en los estudiantes de posgrado y los nuevos profesores aquellos que se "convirtieron", de inicio, al constructivismo radical. Un importante entrevistado ha escrito que: "Según el constructivismo radical, vivimos encerrados para siempre en nuestros mundos propios, construidos por nosotros mismos; el mundo no puede siquiera ser descrito fuera de nuestros marcos experienciales. Esta idea es congruente con la de que existen tantos mundos como hay sujetos cognoscentes" (Roth, 1995, p. 13).

Puesto que hay 7 mil millones de personas en el mundo, esto equivale a asegurar que existen 7 mil millones de mundos distintos. Evidentemente es un absurdo, y sin embargo se dice y se publica.[11] El mismo entrevistado continúa afirmando que "El constructivismo radical nos obliga a abandonar la tradicional distinción entre conocimiento y creencias. Esta distinción sólo tiene sentido en una visión del mundo objetiva realista" (Roth, 1995, p. 14), y por si las dudas añade: "Gracias a esta investigación [en sociología de la ciencia], hemos entendido que la racionalidad científica y las habilidades especiales de resolución de problemas son parte de un mito" (Roth, 1995, p. 31). Todo esto, y las ideas epistemológicas y ontológicas comparables que albergan otros entusiastas tempranos del constructivismo radical, pueden rastrearse hasta la filosofía de Von Glasersfeld y, en última instancia, hasta el obispo Berkeley (Matthews, 2000, pp. 171-174). A partir de estos entusiastas, el mensaje idealista y relativista se divulgó amplia y velozmente en la enseñanza de la ciencia.

Es importante notar que Von Glasersfeld reconoce su falta de formación filosófica y se describe a sí mismo como un aficionado del campo (Von Glasersfeld, 1995, p. 4). Su postura filosófica no es más que el empirismo del obispo Berkeley con algunos añadidos piagetianos. Él admite esto sin reparos, y en algún punto afirma que el obispo Berkeley fue el primer filósofo que leyó, y que "1710 fue el mejor año en la historia de la filosofía", puesto que entonces se publicaron los *Principles of Human Knowledge* [Principios del conocimiento humano] de Berkeley. Tal vez los investigadores en pedagogía de la ciencia no se habrían dejado impresionar tan fácilmente por la reformulación constructivista que hizo Von Glasersfeld de la obra del obispo, si hubieran tomado un curso de filosofía de licenciatura, en donde el empirismo de Berkeley se sitúa

históricamente, y se explican y critican su teoría de la percepción, su descripción de las imágenes mentales, su teoría del conocimiento y sus crítica de la ciencia newtoniana. No hay nada nuevo en la filosofía de Von Glasersfeld.

La influencia de Thomas Kuhn

El otro filósofo que los entrevistados de Fensham describen como una gran influencia es Thomas Kuhn. Sin embargo, como ocurre con Von Glasersfeld, la comunidad de pedagogía de la ciencia se apropió de las ideas de Kuhn de forma totalmente acrítica: "la comunidad se convirtió en un conjunto de porristas de Kuhn"; así resumen Cathleen Loving y William Cobern el impacto de este filósofo (Loving y Cobern, 2000).[12] Por supuesto, Kuhn es más citado que leído; resulta desafortunado que sólo citarlo sea considerado el sustituto de un argumento o de evidencia para las ideas filosóficas. En una publicación, uno de los entrevistados escribe que: "En los últimos años, las bases racionales de la ciencia occidental y la creencia autoperpetuada en el método científico han sido cuestionados […] La noción de que puede encontrarse una realidad verdadera es muy cuestionable" (Fleer, 1999, p. 119).

No se aduce ninguna evidencia para esta afirmación demoledora, excepto una referencia a Kuhn, sin página. Esta práctica de incluir una cita de Kuhn o incluso su nombre como sustituto de evidencias o argumentos es generalizada en educación; la sola palabra "Kuhn" funciona como un comodín filosófico, del mismo modo que mencionar "la Biblia", o "la Iglesia", o "el Partido" puede funcionar en otros ámbitos.

Casi siempre se han pasado por alto las numerosas críticas a las nociones kuhnianas de paradigma, inconmensurabilidad, dependencia de la teoría de la observación, racionalidad intrateórica, etc. (Matthews, 2004). Una crítica favorable a Kuhn mantiene, correctamente, que: "El tratamiento que hizo Kuhn de las ideas filosóficas no es sistemático ni riguroso. Rara vez empleó los recursos de los filósofos modernos, el análisis cuidadoso y preciso de los detalles de las ideas de otros filósofos, y cuando lo hizo los resultados no fueron alentadores" (Bird, 2000, p. ix).

Abner Shimony, físico y filósofo de profesión, dijo sobre la estrategia kuhniana de obtener lecciones metodológicas a partir de la práctica científica: "Su trabajo merece ser criticado en este punto, sin importar cuál sea la respuesta, porque trata los problemas centrales de la metodología de forma elíptica, ambigua y sin la atención al detalle que es esencial para el análisis controlado" (Shimony, 1976, p. 582).

Como Von Glasersfeld, Kuhn admite que es un intruso en la filosofía, pues nunca ha tomado una clase sobre el tema, y confiesa con ingenuidad que su tratamiento de los asuntos filosóficos en su famoso libro *La estructura de las revoluciones científicas* fue "irresponsable" (Conant y Haugeland, 2000, p. 305). Al revisar su obra, se arrepintió de

los "textos púrpuras" que escribió en *La estructura.* Esta confesión le permite salirse con la suya muy fácilmente. Por desgracia, muchos en la comunidad de pedagogía de la ciencia adoptaron precisamente los textos púrpuras. Cuando Kuhn decidió retractarse de ellos y cerrar la puerta del establo ya se habían dado a la fuga en forma de miles de posgrados, artículos y libros. Y su influencia no estaba confinada a la academia: con frecuencia se evocan versiones del "kuhnianismo", en particular, la supuesta inconmensurabilidad y el relativismo interparadigmático para respaldar decisiones curriculares en la enseñanza de la ciencia multicultural, donde Kuhn supuestamente establece que existe una igualdad epistemológica entre todas las ciencias, de modo que elegir la ciencia occidental en las escuelas no es más que un acto político.

El impacto del "Programa fuerte"

El efecto de Von Glasersfeld y de Kuhn sobre el grupo de Fensham sólo se vio fortalecido por el impacto del "Programa fuerte en la sociología del conocimiento científico" (SCC) de la Escuela de Edimburgo, un programa que le debe su nacimiento a Thomas Kuhn. Fensham reporta que "Un libro destacó como una influencia importante sobre la cultura de la ciencia: *Laboratory Life* [Vida de laboratorio], de Latour y Woolgar" (Fensham, 2004, p. 58). Este libro se encuentra en el ala idealista extrema del movimiento de la sociología del conocimiento científico. Es un intento por hacer un estudio antropológico de la investigación de laboratorio sobre la hormona liberadora de tirotropina (HLT) para el cual uno de los autores, Latour, pensó, de modo más bien sorprendente, que no saber nada de ciencia de hecho le resultaba muy ventajoso. El libro sostiene que toda ciencia es "la construcción de ficciones", y que el éxito científico no es más que la habilidad de un grupo, en este caso los ganadores del premio Nobel Schally y Guillemin, de "extraer la conformidad" de otros científicos (Latour y Woolgar, 1979/1986, p. 285). Estos autores hacen una afirmación directamente idealista: que la HLT sólo existe si se acepta cierto procedimiento de bioensayo. Esta sola afirmación debería prender todas las alarmas filosóficas; se trata de una idea peculiar. Aceptar o no el resultado de un bioensayo puede sentar las bases para creer o no creer en la HLT, pero no para que ésta exista o deje de existir.

Sin embargo, los partidarios del programa de la sociología del conocimiento científico hacen la misma afirmación incluso en el caso de cuerpos masivos como los planetas, que supuestamente sólo empiezan a existir cuando son descubiertos. Se trata de la forma más pura de idealismo: se supone que el mundo depende de las mentes humanas (no se nos explica en qué medida puede depender de las mentes animales, ni tampoco si hay tantos mundos como hay animales que tienen experiencias). Este idealismo de la sociología del conocimiento científico resulta evidente cuando otro entrevistado por Fensham escribe:

"Para los constructivistas, las observaciones, los objetos, los acontecimientos, los datos, las leyes y las teorías no existen en forma independiente a los observadores. La naturaleza predecible y segura de los fenómenos naturales es una propiedad nuestra, de quienes la describimos, no de la naturaleza que es descrita" (Staver, 1998, p. 503).

Es evidente que las observaciones, los datos y las teorías no existen de manera independiente a nosotros, pero afirmar que *los objetos, los acontecimientos y* el comportamiento *predecible* dependen de nosotros es un idealismo puro y sin bases, algo que el rey Canuto le demostró en forma dramática a sus cortesanos. Incluso las instituciones sociales, como el matrimonio o los ejércitos, que no existirían sin humanos, no aparecen y desaparecen dependiendo de cómo los estudien o los describan los sociólogos. Pero una dieta continua de Von Glasersfeld, Kuhn y la Escuela de Edimburgo provoca que afirmaciones como éstas manen de los teclados y fluyan, sin frenos ni controles, hacia la bibliografía de la pedagogía de la ciencia y de allí a las aulas de posgrado.

Latour, Woolgar y quienes se vieron más influidos por ellos creen que los esfuerzos de Galileo, Newton, Darwin, Einstein y muchos otros constructores de la tradición científica no han revelado siquiera verdades aproximadas sobre el mundo, pero sí han revelado cómo tener éxito en ciencia, un éxito que no se debe a que sus afirmaciones científicas tengan nada que ver con el mundo; la contribución de la naturaleza es insignificante. Mantienen sobre el laboratorio de Schally y Guillemin, y sobre cualquier otro laboratorio de ciencia, que "nada extraordinario, y nada 'científico' ocurría dentro de las paredes sagradas de esos templos" (Latour y Woolgar, 1979/1986, p. 141). Peter Sleza, un filósofo, preparó una crítica larga, detallada y devastadora de *Laboratory Life* y sus pretensiones. En su opinión, el libro es "en mucho sentidos […] totalmente incoherente e ininteligible" (Slezak, 1994, p. 335). Stephen Cole, un sociólogo, dice que "en toda la bibliografía constructivista no hay un solo ejemplo que sirva como base para esta idea de la ciencia [la de Latour y Woolgar]" (Cole, 1996, p. 278). Muchos otros filósofos, sociólogos e historiadores comparten su opinión.[13] Hasta Thomas Kuhn, en su Conferencia Rothchild de 1991, se vio inclinado a decir sobre el programa de la sociología del conocimiento científico: "Estoy entre aquellos que han encontrados absurdas las afirmaciones del programa fuerte: un ejemplo enloquecido de deconstrucción. Y las expresiones sociológicas e históricas más calificadas que actualmente tratan de remplazarlo son, en mi opinión, apenas más satisfactorias" (Conant y Haugeland, 2000, p. 110).

A pesar de todo esto, en 2004, 79 de los pedagogos internacionales de la ciencia de Fensham nombraron *Laboratory Life* como una "influencia importante". De hecho, Latour es citado, en forma acrítica, hasta el reporte del National Research Council de Estados Unidos (NRC), *Taking Science to School,* de 2007, donde su trabajo se evoca en

respaldo de “La idea de la ciencia como práctica” (NRC, 2007, p. 29). El comentario anterior de Abner Shimony sobre Kuhn es relevante: la mayor parte de la actividad humana, incluida la ciencia, es una práctica; reconocer esto, aunque suena profundo, equivale a no decir gran cosa. El futbol y la política son prácticas que tienen sus propias medidas de éxito, y los sociólogos pueden estudiar cómo se logra el éxito. Los temas críticos son: ¿Esta práctica busca la verdad? ¿Qué indicadores de éxito hay, o qué pruebas de que hay “mejores” prácticas alternativas de búsqueda de la verdad? En la medida en la que Latour realmente propone respuestas a estas preguntas, se trata de respuestas incorrectas.

Latour y el programa de la sociología del conocimiento científico ignoran la verdad, lo razonable, cualquier forma de justificación o cualquier factor epistemológico como explicación para el éxito de una teoría; todo esto es un asunto de influencia, obediencia o políticas disciplinares. El primer tipo de explicación requiere que los sociólogos sepan algo sobre ciencia y algo sobre filosofía de la ciencia, al menos sobre la evaluación de teorías; sin este conocimiento, todo lo que puede estudiarse son los tres factores siguientes, y es natural que tiendan a asegurar que éstos son los únicos importantes. Si un observador sabe algo sobre matemáticas y va a un grupo de alumnos que aseguran que “2 + 2 = 5”, sabe que hay algo que explicar. Si no se sabe matemáticas, nada parece fuera de lugar, nada parece necesitar una explicación. Los sociólogos que no poseen conocimientos científicos, como Latour confiesa orgullosamente sobre sí mismo, se encuentran en esta situación.

Las teorías psicológicas

Dejando a un lado la filosofía, la falta de una preparación rigorosa para la investigación en enseñanza de la ciencia también se vuelve evidente en la medida en la que en el campo se usan teorías filosóficas superficiales. Fensham lo reconoce y dice que “los pedagogos de ciencia toman prestadas teorías psicológicas del aprendizaje […] por ejemplo Bruner, Gagne y Piaget” (Fensham, 2004, p. 105). Continúa, de manera demoledora: “La influencia de dichos préstamos puede describirse de forma más elocuente como la selección de eslóganes a partir de estas teorías” (Fensham, 2004, p. 105). Lo que hace que los investigadores dependan de una interpretación superficial de la teoría es la falta de formación rigurosa en psicología básica. Tres o cuatro años de esfuerzo para aprender una disciplina suelen liberar a los alumnos de la dependencia de los eslóganes, pero como Fensham da fe de manera tan elocuente, pocos investigadores de la comunidad de pedagogía de la ciencia han hecho este esfuerzo por aprender las disciplinas básicas.

Jerome Bruner lamentó las interpretaciones superficiales de los pedagogos sobre su

idea del aprendizaje por descubrimiento (Bruner, 1974). Más recientemente, como se mencionó en el capítulo IV, un artículo en colaboración de Peter Hewson, uno de los entrevistados por Fensham, y ampliamente citado, corrió con la misma suerte: "Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change" [La acomodación de una concepción científica: Hacia una teoría del cambio conceptual] (Posner *et al.,* 1982). Diez años después de publicado, dos de los coautores se sintieron en la necesidad de publicar "A revisionist theory of conceptual change" [Una teoría revisionista del cambio conceptual] (Strike y Posner, 1992), donde señalaron que el artículo original busca ser una descripción del cambio conceptual racional, no una teoría psicológica del cambio conceptual, y mucho menos una plantilla pedagógica para la enseñanza en el aula: "Esta teoría es básicamente una teoría epistemológica, no una teoría psicológica. De esto se desprende que también es una teoría normativa. Se basa en una concepción del tipo de cosas que se consideran buenas razones" (Strike y Posner, 1992, p. 150). Más adelante, especulan sobre la razón de que el artículo original haya dado lugar a confusiones: "Tal vez son resultado de epistemologías 'constructivistas' que han olvidado el carácter social del conocimiento y que asumen que la gente no entiende ninguna noción que no haya construido por sí misma" (Strike y Posner, 1993, p. 170).

En el corazón del citado artículo está la noción de "buenas razones". Se trata de un tema del que se ha ocupado la historia de la epistemología desde Platón; conocer dicha historia podría haber contribuido a que los pedagogos entendieran el artículo original de modo más profundo, pero no forma parte de la preparación de los investigadores en pedagogía de la educación. Reflexionar sobre la diferencia entre causas, razones, buenas razones y justificaciones para creer algo es un ejercicio muy útil que bien podría formar parte de cualquier programa decente de formación de maestros.

Fensham concluye su libro con la observación de que la investigación sobre enseñanza de la ciencia ha madurado y, al menos en algunas áreas, "ha adquirido una identidad" (Fensham, 2004, p. 209). Se trata de una afirmación debatible. Mucho tiene que ver con qué se entiende por "tener una identidad". Un tema básico es si la enseñanza de la ciencia como campo de investigación es autónoma, derivada o algo intermedio. Se trata de una manifestación "local" del tema más general, que se discutió hace 50 años, de si la educación en sí misma es una disciplina autónoma o si se agota en sus componentes constitutivos: la filosofía, la psicología, la sociología, la historia y la economía.[14] La educación cubre un enorme abanico de áreas de actividad: escolaridad, aprendizaje, enseñanza, financiamiento, planes de estudio, gobiernos, etc. No está claro que pueda hacerse un análisis educativo aislado para cada una de estas áreas; en cambio, habrá sociología de la educación, historia de la educación, psicología de la educación, filosofía de la educación, economía de la educación, etcétera.

Dos años antes de la publicación del libro de Fensham, un grupo de 13 pedagogos de la ciencia de varios países defendieron la postura de la autonomía con el argumento de que

> El surgimiento de la enseñanza de la ciencia como un ámbito científico suele asociarse con el establecimiento de lo que Novak [...] llamó un "consenso emergente" sobre las posturas constructivistas [...] que se consideran la contribución más importante de las últimas décadas en enseñanza de la ciencia [...] es necesario construir un cuerpo de conocimiento específico para la pedagogía de la ciencia [Gil-Pérez *et al.,* 2002, pp. 558, 562].

Los autores "no pretenden ignorar las contribuciones de otros campos, tales como la psicología educativa y la historia de la ciencia" (Gil-Pérez *et al.,* 2002, p. 560), pero dicen que los debates en esas áreas, incluida la crítica filosófica del constructivismo, "no son nuestros debates". Esta postura autónoma es la postura por default en la enseñanza de la ciencia: las conferencias se limitan, básicamente, a los pedagogos de la ciencia, las revistas publican sobre todo artículos de enseñanza de la ciencia que son revisados por pedagogos de la ciencia y los programas de posgrado están conformados, casi en su totalidad, por cursos de enseñanza de la ciencia. La postura autónoma puede transformarse fácilmente en una aislacionista e hiperprofesionalista. Stephen Sharpin observa, sobre esto último, que:

> Una de las señales de que una disciplina está hiperprofesionalizada es que es autorreferencial. Equiparan la bibliografía profesional con las cosas en el mundo a las que esa bibliografía supuestamente se refiere; equiparan citar la bibliografía con aprender [...] Puedes distinguir una disciplina autorreferencial por el hecho de que no lee sus productos nadie que no deba hacerlo [Shapin, 2005, p. 239].

El argumento que se ha sostenido a lo largo de este libro es el de que buscar esta autonomía o “identidad” de la enseñanza de la ciencia sin aprender algo sobre las disciplinas base es perjudicial para todos los involucrados. El aislacionismo es tan desafortunado como imposible de llevar a la práctica. La discusión, el debate, la enseñanza y la investigación sobre enseñanza de la ciencia se ocupan de preguntas tales como: ¿Cómo aprenden los niños? ¿Qué sabemos sobre los procesos de maduración de las mentes de los niños, y qué influencia tienen sobre el aprendizaje? ¿Qué debería determinar el contenido de los planes de estudio y los estándares nacionales de ciencia? ¿Cómo eran los planes de estudio anteriores y por qué se modificaron? ¿Cuál es la naturaleza de la disciplina, la ciencia, que se busca enseñar? ¿Qué razones pueden aducirse para enseñar ciencia? ¿Qué cosas deben retomarse de las tradiciones indígenas de conocimiento? ¿En qué medida debe ser obligatoria la enseñanza de la ciencia? ¿La ciencia requiere un Estado liberal y democrático?, etcétera.

Ninguna de estas preguntas puede responderse, ni sopesarse en forma inteligente, sin prestarles atención a las disciplinas básicas de la filosofía, la psicología, la historia, la sociología y otras, como la economía y la política. Por el contrario, cuando estas disciplinas básicas se ignoran o se usan en un nivel acrítico o superficial, el campo de la enseñanza de la ciencia en su conjunto se debilita. El dilema de la profesión, tan bien expresado por los entrevistados de Fensham, es que una vez que son nombrados, los pedagogos de la ciencia deben ocuparse de todas las preguntas antes mencionadas, responderlas y enseñar sobre ellas, actividades para las cuales no están capacitados. Tienen que enseñarle a los niños a aprender sin haber estudiado psicología, enseñar sobre la naturaleza de la ciencia o comentar sobre asuntos de ciencia y religión sin haber estudiado historia o filosofía de la ciencia; explicar los cambios en los planes de estudio sin haber estudiado historia; evaluar las afirmaciones filosóficas del constructivismo sin haber estudiado filosofía, y lo mismo en todo el espectro de programas escolares de enseñanza.

El primer paso para tratar de estos dilemas es reconocer que existen; luego hay que ser modesto en lo que se declara o afirma sobre cada asunto y, finalmente, entender lo mejor que se pueda las disciplinas básicas relevantes y sus bibliografías.

El campo académico de la enseñanza de la ciencia no puede ser totalmente derivado; existen asuntos teóricos, curriculares y pedagógicos genuinos únicos y peculiares de la enseñanza de la ciencia, y deben recibir el aporte de las disciplinas básicas. Lo que debe desarrollarse, con este propósito, es una filosofía *de* la enseñanza de la ciencia. Debe comenzarse, como se sostiene en las páginas anteriores, con el desarrollo de una filosofía de la educación que vaya de la mano del conocimiento y el reconocimiento de la historia y filosofía de la ciencia. Esto puede entenderse como una filosofía *para* la enseñanza de la ciencia, un tema sin duda importante al que espero que este libro haya podido

contribuir.[15]

Los que siguen son algunos pasos que pueden tomarse para fortalecer la enseñanza de la ciencia como disciplina:

1) Para preparar futuros investigadores, en vez de que los maestros de ciencia cursen posgrados de educación después de su grado en ciencia, es recomendable que se los anime a completar una carrera universitaria en una disciplina básica adecuada (filosofía, psicología, historia, etc.) y después a hacer un doctorado en educación. Esto es bueno para su desarrollo o educación personal y a fin de cuentas también beneficia los programas de investigación en los que participan.

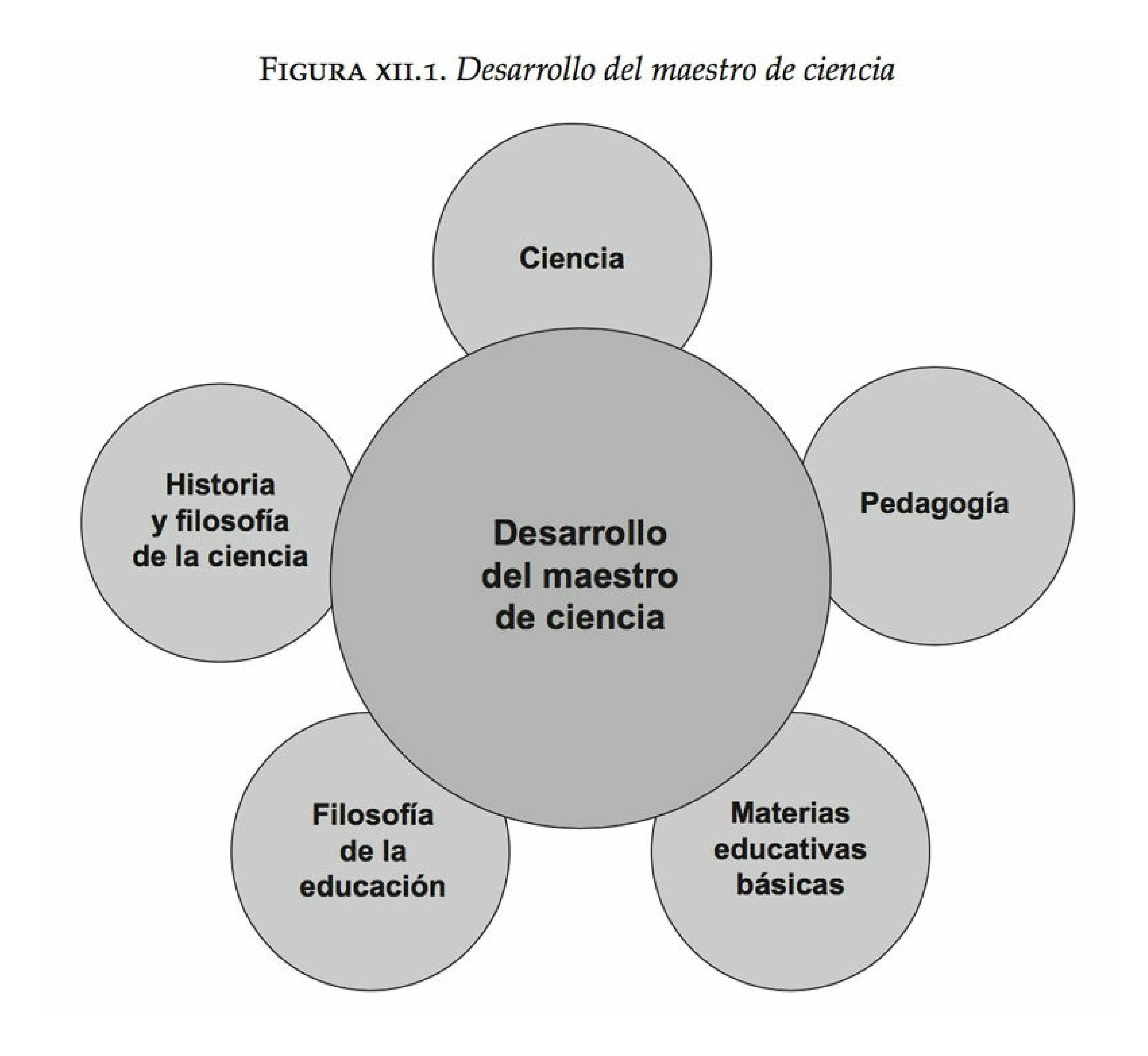
2) Incluir en los posgrados de enseñanza de la ciencia un curso universitario o de posgrado sobre las materias básicas relevantes.

3) Incluir profesores de disciplinas básicas en los comités de doctorado de carreras de enseñanza de la ciencia. La participación de profesores de psicología, filosofía, historia o lingüística en estos comités de tesis ayudaría a que tanto los candidatos como sus revisores fueran más conscientes de la bibliografía presente y pasada en la disciplina básica relevante en la investigación del alumno.

4) Reducir la presión para publicar en el caso de las personas recién contratadas, con el objetivo de que éstas puedan ponerse al día en la lectura y el conocimiento de los campos básicos descuidados durante su formación. Tal vez las instituciones deban dar preferencia a la calidad sobre la cantidad al evaluar los resultados de un nuevo miembro del equipo, y le concedan más tiempo para hacer dichas contribuciones. Las instituciones deben reconocer que una publicación importante y perdurable contribuye más al campo que diez publicaciones superficiales, mal concebidas y de segunda clase que no hacen más que ocupar espacio. Es mejor que los nuevos miembros del equipo pasen un semestre tomando algún curso de filosofía, psicología, lingüística o historia y leyendo libros esenciales, que llevando a cabo un estudio más sobre errores conceptuales o transcribiendo videos de una intervención en el aula para la cual no hay controles y que no está basada en una teoría decente. Es mejor hacer bien algunas cosas fundamentales que hacer mal una docena de actividades periféricas.

5) Fomentar un sistema de nombramientos cruzados entre las disciplinas educativas y las básicas. Resulta alentador que esto ocurra, hasta cierto punto, entre las disciplinas educativas y las científicas; si otros miembros del profesorado fueran nombrados parte de departamentos de filosofía, historia y filosofía de la ciencia, psicología o sociología, sin duda mejoraría el nivel del conocimiento y de investigación en el área. Los modelos de nombramientos cruzados entre las disciplinas filosóficas y científicas son casos ejemplares.

FIGURA XII.1. *Desarrollo del maestro de ciencia*



En cuanto a la preparación de los maestros de ciencia, el argumento que defiende este libro es que, se haga lo que se haga, es indispensable incluir algunas clases de historia y filosofía de la ciencia con vínculos a la educación o de educación con vínculos a la historia y filosofía de la ciencia. Lo ideal sería crear cursos específicos que recojan los temas teóricos, curriculares y pedagógicos de la enseñanza de la ciencia, que los maestros puedan identificarlos y reconocerlos como problemas genuinos de su vida didáctica, y luego demostrar cómo las consideraciones basadas en la historia y filosofía de la ciencia pueden contribuir a entender y resolver mejor estos problemas.[16] La figura XII.1 —elaborada a partir de un diagrama parecido de Ronald Schulz (2014b)— recoge los componente que sirven como base a la formación de buenos maestros de ciencia y que se discutieron arriba:

- *Ciencia:* grados o posgrados en ciencias, etc.;

- *historia y filosofía de la ciencia:* historia y filosofía de la ciencia interna, basada en los planes de estudios, y estudios externos de historia y filosofía de la ciencia vinculados con la educación;
- *pedagogía:* práctica educativa, tecnología educativa, teoría de la enseñanza, planes locales de estudio, teoría y práctica de la evaluación, asuntos administrativos, educación especial, etc.;
- *filosofía de la educación:* objetivos de la educación, metas personales y sociales de la educación, estándares éticos para la enseñanza en el aula, interacciones maestro-alumnos y sistemas escolares, análisis conceptual de la enseñanza y el aprendizaje, etc.;
- *temas básicos de educación:* sociología de la educación, historia de la enseñanza de la ciencia, psicología y psicología cognitiva, psicología del desarrollo, teoría curricular, etcétera.

Existen muchas razones por las cuales la historia y filosofía de la ciencia debe formar parte de los programas de formación y de formación continua de los maestros de ciencia. Con una frecuencia cada vez mayor, las clases de ciencia en la escuela se ocupan de los temas históricos, filosóficos, éticos y culturales que provoca la ciencia. Es evidente que quienes deben enseñar estos planes de estudio requieren saber historia y filosofía de la ciencia. Sin este conocimiento, presentarán versiones incompletas y parciales del plan de estudio o repetirán referencias académicas superficiales sobre los temas que mencionamos ("eslóganes", como los llama Peter Fensham). Como sea, se les hace un flaco favor a los alumnos. Incluso cuando los planes de estudio no incluyen secciones sobre "naturaleza de la ciencia", la historia y filosofía de la ciencia puede ayudar a impartir una enseñanza más interesante y más crítica de los contenidos curriculares.

Más allá de estos argumentos "prácticos" para incluir historia y filosofía de la ciencia en la formación de maestros, existen argumentos "profesionales". Los maestros deberían saber más de lo que enseñan. Como educadores, requieren saber sobre el conjunto de conocimientos que enseñan, algunas cosas sobre cómo se obtiene este conocimiento, cómo se justifican sus afirmaciones, qué limitaciones tiene y, lo que es más importante, de qué modo las fortalezas y las contribuciones de la ciencia han servido para mejorar la comprensión y la vida humana. Los maestros deberían ser capaces de apreciar y valorar la tradición de indagación en la cual están iniciando a sus alumnos. La historia y filosofía de la ciencia también lo promueve.

En este libro se ha dicho lo suficiente para sugerir que muchos de los temas de la historia y filosofía de la ciencia son complejos o polémicos, y que aún no se alcanzan consensos sobre algunos de sus problemas más importantes. El arte del maestro es valorar la sofisticación de sus alumnos y presentarles una imagen de la ciencia que les resulte inteligible sin ser abrumadora. Los alumnos tienen que conocer el camino, familiarizarse con la tradición, antes de enfrentarse a preguntas "de avanzada". El maestro puede tener sus propias opiniones sobre varios temas de historia y filosofía de la ciencia, pero el propósito de la enseñanza es desarrollar las mentes de los alumnos, es decir, darles los conocimientos y los recursos para producir opiniones informadas. Si en la enseñanza de la ciencia la historia y filosofía de la ciencia se convierte en un catecismo, traiciona uno de sus principios principales. En los programas de formación de maestros, la historia y filosofía de la ciencia puede ayudar a ampliar su visión para que sus alumnos no sólo lleguen a los lugares esperados (la competencia científica), sino que lo hagan con horizontes más amplios, tras un viaje con paisajes distintos. En el largo plazo, esto contribuye a la salud de la ciencia, la sociedad y la cultura.

Los sistemas educativos tienen la responsabilidad de identificar y transmitir lo mejor de nuestra herencia cultural. La ciencia es uno de los componentes más importantes de

esta herencia; es ya parte del patrimonio humano. La historia y filosofía de la ciencia le da a los maestros de ciencia y a los pedagogos de la ciencia herramientas para entender mejor sus propias responsabilidades sociales y profesionales como parte de una gran tradición, y es por ello que debe cultivarse el interés y las capacidades en historia y filosofía de la ciencia en la formación básica y continua de maestros.

Berlin, I. (2000), *The Power of Ideas,* ed. por H. Hardy, Londres, Chatto & Windus.

Bird, A. (2000), *Thomas Kuhn,* Princeton, Princeton University Press. [Hay edición en español: *Thomas Kuhn,* Madrid, Tecnos, 2002.]

Bruner, J. S. (1974), "Some elements of discovery", en *Relevance of Education,* Harmondsworth, Penguin, pp. 84-97. Publicado originalmente en L. Shulman y E. Keislar (coords.), *Learning by Discovery,* Chicago, Rand McNally, 1966. [Hay edición en español: *La importancia de la educación,* Barcelona, Paidós, 1987.]

Bunge, M. (1991), "A critical examination of the new sociology of science. Part. 1", *Philosophy of the Social Sciences,* vol. 21, núm. 4, pp. 524-560.

———— (1992), "A critical examination of the new sociology of science. Part. 2", *Philosophy of the Social Sciences,* vol. 22, núm. 1, pp. 46-76.

Coady, C. A. J. (1992), *Testimony: A Philosophical Study,* Oxford, Oxford University Press.

Cobb, P. (1994), "Where is the mind? Constructivist and sociocultural perspectives on mathematical development", *Educational Researcher,* vol. 23, núm. 7, pp. 13-20.

Cochran-Smith, M., S. Feiman-Nemser y D. J. McIntyre (coords.) (2008), *Handbook of Research on Teacher Education,* 3ª ed., Nueva York, Routledge/Taylor & Francis.

Cole, S. (1992), *Making Science: Between Nature and Society,* Cambridge, Harvard University Press.

———— (1996), "Voodoo sociology: Recent developments in the sociology of science", en P. R. Gross, N. Levitt y M. W. Lewis (coords.), *The Flight from Science and Reason,* Baltimore, Johns Hopkins University Press, pp. 274-287.

Conant, J., y J. Haugeland (2000), *The Road since Structure: Thomas S. Kuhn,* Chicago, University of Chicago Press. [Hay edición en español: *El camino desde la estructura: Ensayos filosóficos 1970-1993, con una entrevista autobiográfica,* Barcelona, Paidós, 2001.]

Cross, R. T. (coord.) (2003), *A Vision for Science Education: Responding to the Work of Peter Fensham,* Londres, Routledge/Falmer.

Curren, R. (coord.) (2003), *A Companion to the Philosophy of Education,* Oxford, Blackwell Publishing.

Darling-Hammons, L. (1999), "The case for university-based teacher education", en R. Roth (coord.), *The Role of the University in the Preparation of Teachers,* Nueva York, Routledge/Falmer, pp. 13-30.

Dearden, R. F., P. H. Hirst y R. S. Peters (coords.) (1972), *Education and the Development of Reason,* 3 vols., Londres, Routledge y Kegan Paul. [Hay edición

en español: *Educación y desarrollo de la razón. Formación del sentido crítico,* Madrid, Narcea, 1982.]

DeBoer, G. E. (2014), "Joseph Schwab: His work and his legacy", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 2433-2458.

Dennett, D. C. (2006), *Breaking the Spell: Religion as a Natural Phenomenon,* Nueva York, Penguin. [Hay edición en español: *Romper el hechizo,* Buenos Aires, Katz, 2007.]

Driver, R., A. Squires, P. Rushworth y V. Woods-Robinson (1994), *Making Sense of Secondary Science,* Londres, Routledge.

Duschl, R. A. (1985), "Science education and philosophy of science, twenty-five years of mutually exclusive development", *School Science and Mathematics,* vol. 87, núm. 7, pp. 541-555.

Fensham, P. J. (2004), *Defining an Identity: The Evolution of Science Education as a Field of Research,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Fleer, M. (1999), "Children's alternative views: Alternative to what?", *International Journal of Science Education,* vol. 21, núm. 2, pp. 119-135.

Fraser, J. W. (1992), "Preparing teachers for democratic schools: The Holmes and Carnegie Reports five years later – A critical reflection", *Teachers College Record,* vol. 94, núm. 1, pp. 7-40.

Gil-Pérez, D. *et al.* (2002), "Defending constructivism in science education", *Science & Education,* vol. 11, núm. 6, pp. 557-571.

Haack, S. (1996), "Towards a sober sociology of science", en P. R. Gross, N. Levitt y M. W. Lewis (coords.), *The Flight from Science and Reason,* Baltimore, Johns Hopkins University Press, pp. 259-265.

Hirst, P. H. (2008), "Philosophy of education in the UK. The institutional context", en L. J. Waks (coord.), *Leaders in Philosophy of Education. Intellectual Self-Portraits,* Rotterdam, Sense Publishers.

Jacob, M. C. (1998), "Reflections on Bruno Latour's version of the seventeenth century", en N. Koertge (coord.), *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths about Science,* Nueva York, Oxford University Press, pp. 240-254.

Kuhn, T. S. (1962/1970), *The Structure of Scientific Revolutions,* 2ª ed., Chicago, Chicago University Press (1ª ed., 1962). [Hay edición en español: *La estructura de las revoluciones científicas,* México, Fondo de Cultura Económica, 2013.]

Labarce, D. F. (2008), "An uneasy relationship: The history of teacher education in the university", en M. Cochran-Smith, S. Feiman-Nemser y D. J. McYntyre (coords.), *Handbook of Research on Teacher Education,* Nueva York, Routledge,

pp. 290-306.
Lakin, S., y J. Wellington (1994), “Who will teach the ‘nature of science’?: Teachers’ views of science and their implications for science education”, *International Journal of Science Education,* vol. 16, núm. 2, pp. 175-190.
Latour, B., y S. Woolgar (1979/1986), *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts,* 2ª ed., Londres, SAGE.
Lemke, J. L. (2001), “Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education”, *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 38, núm. 3, pp. 296-316.
Loving, C. C. (1991), “The scientific theory profile: A philosophy of science model for science teachers”, *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 28, núm. 9, pp. 823-838.
Loving, C. C., y W. A. Cobern (2000), “Invoking Thomas Kuhn: What citation analysis reveals for science education”, *Science & Education,* vol. 9, núms. 1-2, pp. 187-206.
Mackenzie, J., R. Good y J. R. Brown (2014), “Postmodernism and science education: An appraisal”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1057-1086.
Matheus, J.-F., W.-M. Roth y J. Thom (2010), “Looking at the observer challenges to the study of conceptions and conceptual change”, en W.-M. Roth (coord.), *Re/Structuring Science Education: Reuniting Sociological and Psychological Perspectives,* Dordrecht, Springer, pp. 201-219.
Manuel, D. E. (1981), “Reflections on the role of history and philosophy of science in school science education”, *School Science Review,* vol. 62, núm. 221, pp. 769-771.
Martin, M. (1972), *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis,* Nueva York, Scott Foresman (reimpreso por University Press of America, 1985).
Matthews, M. R. (1990), “History, philosophy and science teaching: What can be done in an undergraduate course?”, *Studies in Philosophy and Education,* vol. 10, núm. 1, pp. 93-97.
———— (1997a), “Scheffler revisited on the role of history and philosophy of science in science teacher education”, *Studies in Philosophy and Education,* vol. 19, núm. 1, pp. 93-97.
———— (1997b), “James T. Robinson’s account of philosophy of science and science teaching: Some lessons for today from the 1960s”, *Science Education,* vol. 81, núm. 3, pp. 295-315.
———— (2000), “Appraising constructivism in science and mathematics education”,

en D. C. Phillips (coord.), *National Society of the Study of Education 99th Yearbook,* Chicago, National Society for the Study of Education, pp. 161-192.
———— (2004), “Thomas Kuhn and science education: What lessons can be learnt?”, *Science Education,* vol. 88, núm. 1, pp. 90-118.
———— (2014), “Disicipline-based philosophy of education and classroom teaching”, *Theory and Research in Education,* vol. 12, núm. 1, pp. 98-108.
McCarthy, C. L. (2014), “Cultural studies in science education: Philosophical considerations”, en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Srpinger, pp. 1927-1964.
McComas, W. F. (1998), “A thematic introduction to the nature of science: The rationale and content of a course for science educators”, en W. F. McComas (coord.), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 211-222.
Niaz, M., F. Abd-el-Khalick, A. Benarroch, L. Cardellini, E. Laburú. N. Marín, L. A. Montes, R. Nola, Y. Orlik, L. C. Scharmann, C.-C. Tsai y G. Tsaparlis (2003), “Constructivism: Defense of a continual critical appraisal – A response to Gil-Pérez *et al.*”, *Science & Education,* vol. 12, núm. 8, pp. 787-797.
Nidditch, P. H. (1973), “Philosophy of education and the place of science in the curriculum”, en G. Langford y D. J. O’Connor (coords.), *New Essays in the Philosophy of Education,* Londres, Routledge y Kegan Paul, pp. 234-258.
NRC (National Research Council) (2007), *Taking Science to School. Learning and Teaching Science in Grades K-8,* Washington, D. C., National Academies Press.
Peters, R. S. (1959), *Authority, Responsibility and Education,* Londres, George Allen & Unwin.
———— (1966), *Ethics and Education,* Londres, George Allen & Unwin.
———— (coord.) (1967), *The Concept of education,* Londres, Routledge & Kegan Paul.
———— (coord.) (1973), *The Philosophy of Education,* Oxford, Oxford University Press.
———— (1974), *Psychology and Ethical Development,* Londres, George Allen & Unwin.
Phillips, D. C. (1981), “Conceptual change: Muddying the conceptual waters – Research on conceptual change”, *Philosophy of Education,* pp. 60-72.
———— (2000), “An opinionated account of the constructivist landscape”, en D. C. Phillips (coord.), *Constructivism in Education,* Chicago, National Society of the Study of Education, pp. 1-16.
Pickering, A. (1995), *The Mangle of Practice: Time, Agency and Science,* Chicago,

University of Chicago Press.

Posner, G. J., K. A. Strike. P. W. Hewson y W. A. Gertzog (1982), "Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change", *Science Education,* vol. 66, núm. 2, pp. 211-227.

Robinson, J. T. (1968), *The Nature of Science and Science Teaching,* Belmont, Wadsorth.

———— (1969), "Philosophical and historical bases of science teaching", *Review of Educational Research,* vol. 39, pp. 459-471.

Rosa, K., y M. C. Martins (2009), "Approaches and methodologies for a course on history and epistemology of physics: Analyzing the experience of a Brazilian university", *Science & Education,* vol. 18, núm. 1, pp. 149-155.

Roth, M.-W. (1993), "Construction sites: Science labs and classrooms", en K. Tobin (coord.), *The Practice of Constructivism in Science Education,* Washington, D. C., AAAS Press, pp. 145-170.

———— (1995), *Authentic School Science: Knowing and Learning in Open-Inquiry Science Laboratories,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Roth, W.-M. (2007), "Identity in scientific literacy: Emotional-volitional and ethico-moral dimensions", en W.-M. Roth y K. Tobin (coords.), *Science, Learning, Identity. Sociocultural and Cultural-Historical Perspectives,* Rotterdam, Sense Publishers, pp. 153-184.

———— (2011), *Passibility: At the Limits of the Constructivist Metaphor,* Dordrecht, Springer.

Roth, W.-M., y K. Tobin (2007), "Introduction: Gendered identities", en W.-M. Roth y K. Tobin (coords.), *Science, Learning, Identity. Sociocultural and Cultural-Historical Perspectives,* Rotterdam, Sense Publishers, pp. 99-102.

Saha, L. J., y A. G. Dworkin (coords.) (2009), *International Handbook of Research on Teachers and Teaching,* Dordrecht, Springer.

Scheffler, I. (1963a), "Is education a discipline?", en *Reason and Teaching,* Londres, Routledge, 1973, pp. 45-57.

———— (1963b), *The Anatomy of Inquiry,* Indianápolis, Bohbs-Merrill.

———— (1966/1982), *Science and Subjectivity,* 2ª ed., Indianápolis, Hackett (1ª ed., 1966).

———— (1970), "Philosophy and the curriculum", en *Reason and Teaching,* Londres, Routledge, 1973, pp. 31-44. Reimpreso en *Science & Education,* vol. 1, núm. 4, pp. 385-394.

———— (1973), *Reason and Teaching,* Indianápolis, Bobbs-Merrill.

Schulz, R. M. (2009), "Reforming science education: Part I. The search for a philosophy of science education", *Science & Education,* vol. 18, núms. 3-4, pp.

225-249.
———— (2014a), "Philosophy of education and science education: A vital but underdeveloped relationship", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1259-1315.
———— (2014b), *Rethinking Science Education: Philosophical Perspectives,* Charlotte, Information Age Publishing.
Science Council of Canada (SCC) (1984), *Science for Every Student: Educating Canadians for Tomorrow's World,* Reporte 36, Otawa, SCC.
Sears, J. T. (2003), "From margin to centre: On the 'other' side of the curriculum renaissance", *Curriculum Inquiry,* vol. 33, núm. 4, pp. 427-439.
Shapin, S. (2005), "Hyper-professionalism and the crisis of readership in the history of science", *Isis,* vol. 96, núm. 2, pp. 238-243.
Schakel, N. (2005), "The vacuity of postmodernist methodology", *Metaphilosophy,* vol. 36, núm. 3, pp. 295-320.
Shimony, A. (1976), "Comments on two epistemological theses of Thomas Kuhn", en R. S. Cohen, P. K. Feyerabend y M. W. Wartosfsky (coords.), *Essays in Memory of Imre Lakatos,* Dordrecht, Reidel, pp. 569-588.
Shulman, L. S. (1986), "Those who understand: Knowledge growth in teaching", *Educational Researcher,* vol. 15, núm. 2, pp. 4-14.
———— (1987), "Knowledge and teaching: Foundations of the new reform", *Harvard Educational Review,* vol. 57, núm. 1, pp. 1-22.
Siegel, H. (1978), "Kuhn and Schwab on science texts and the goals of science education", *Educational Theory,* vol. 28, pp. 302-309.
———— (1979), "On the distortion of the history of science in science education", *Science Education,* vol. 63, pp. 111-118.
———— (1989), "The rationality of science, critical thinking, and science education", *Synthese,* vol. 80, núm. 1, pp. 9-42. Reimpreso en M. R. Matthews (coord.), *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings,* Toronto y Nueva York, OISE-Teachers College Press, 1991.
———— (1993), "Naturalized philosophy of science and natural science education", *Science & Education,* vol. 2, núm. 1, pp. 57-68.
Siegel, H. (coord.) (1997), *Reason and Education: Essays in Honor of Israel Scheffler,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
———— (2009), *The Oxford Handbook of Philosophy of Education,* Oxford, Oxford University Press.
Silberman, C. E. (1970), *Crisis in the Classroom: The Remaking of American Education,* Nueva York, Random House.

Slezak, P. (1994), "Sociology of science and science education. Part 11: Laboratory life under the microscope", *Science & Education,* vol. 3, núm. 4, pp. 329-356.

———— (2014), "Constructivism in science education", en M. R. Matthews (coord.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching,* Dordrecht, Springer, pp. 1023-1055.

Sprat, T. (1667/1966), *The History of the Royal Society of London for the Improving of Natural Knowledge,* I. C. Jackson y H. W. Jones (coords.), Londres, Routledge & Kegan Paul.

Staver, J. (1998), "Constructivism: Sound theory for explicating the practice of science and science teaching", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 35, núm. 5, pp. 501-520.

Steinberg, S. R., y J. Kincheloe (2012), "Employing the bricolage as critical research in science education", en B. Fraser, K. Tobin y C. McRobbie (coords.), *International Handbook of Science Education,* 2ª ed., Dordrecht, Springer, pp. 1485-1500.

Stenhouse, D. (1985), *Active Philosophy in Education and Science,* Londres, Allen & Unwin.

Strike, K. A., y G. J. Posner (1992), "A revisionist theory of conceptual change", en R. Duschl y R. Hamilton (coords.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice,* Albany, State University of New York Press, pp. 147-176.

Sullenger, K., y S. Turner (1998), "Nature of science: Implications for education: An undergraduate course for prospective teachers", en W. F. McComas (coord.), *The Nature of Science in Science Education: Rationale and Strategies,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 243-253.

Taylor, P. C. S. (1998), "Constructivism: Value added", en B. J. Fraser y K. G. Tobin (coords.), *International Handbook of Science Education,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 243-253.

Thompson, J. J. (coord.) (1918), *Natural Science in Education* (conocido como el Reporte Thompson), Londres, HMSO.

Tibble, J. W. (coord.) (1966), *The Study of Education,* Londres, Routledge y Kegan Paul.

Tobin, K. (1998), "Sociocultural perspectives on the teaching and learning of science", en M. Larochelle, N. Bednarz y J. Garrison (coords.), *Constructivism and Education,* Cambridge, Cambridge University Press, pp. 195-212.

Tozer, S., T. H. Anderson y B. B. Armbuster (coords.) (1990), *Foundational Studies in Teacher Education: A Reexamination,* Nueva York, Teachers College Press.

Von Glasersfeld, E. (1995), *Radical Constructivism. A Way of Knowing and*

Learning, Londres, The Falmer Press.
Wagner, P. A., y C. J. Lucas (1977), "Philosophic inquiry and the logic of elementary school science education", *Science Education,* vol. 61, núm. 4, pp. 549-558.
Waks, L. J. (coord.) (2008), *Leaders in Philosophy of Education: Intellectual Self-Portraits,* Rótterdam, Sense Publishers.
Yager, R. E., y J. E. Penick (1990), "Science teacher education", en W. R. Houston (coord.), *Handbook of Research on Teacher Education,* Nueva York, Macmillan, pp. 657-673.

[1] Fueron las siguientes: Mineápolis (1995), Calgary (1997), Pavía (1999), Denver (2001), Winnipeg (2003), Leeds (2005), Calgary (2007), Notre Dame (2009), Salónica (2001) y Pittsburgh (2013).

[2] Para revisar actas seleccionadas véase Pavía (vol. 10, núms. 1-2, 2001), Winnipeg (vol. 14, núms. 3-5, 2005), Leeds (vol. 16, núms. 2-4, 2007), Calgary (vol. 19, núms. 3-4, 2009), Notre Dame (vol. 20, núms. 7-8, 2011) y Salónica (vol. 22, núm. 6, 2013).

[3] Brasil (2010), Argentina (2012), Corea (2012) y Taiwán (2014).

[1] Las actas de la conferencia de 1989 en Tallahasse están disponibles en Herget (1989, 1990); las de la conferencia de 1992 en Kingston se encuentran en Hills (1992).

[2] Los números especiales de revistas incluyen los siguientes: *Educational Philosophy and Theory,* vol. 20, núm. 2, 1998; *Synthese,* vol. 80, núm. 1, 1989; *Interchange,* vol. 20, núm. 2, 1989; *Studies in Philosophy and Education,* vol. 10, núm. 1, 1990; *Science Education,* vol. 75, núm. 1, 1991; *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 29, núm. 4, 1992; *International Journal of Science Education,* vol. 12, núm. 3, 1990, e *Interchange,* vol. 23, núms. 2-3, 1993.

[3] La revista es publicada por Kluwer Academic Publishers, PO Box 17, 3300 AA Dordrecht, Países Bajos. Se puede conseguir con descuento a través del International History, Philosophy, and Science Teaching Group (consulte al autor).

[1] Véanse al menos Mario Bunge (2000, 2003, 2011), Martin Carrier (2013), Hasok Chang (2011), Alberto Cordero (1992, 2009), Richard Grandy (1997), Rom Harré (1983), Gürol Irzik (2013, 2011 con Robert Nola, 2014 con Robert Nola), Peter Kosso (2009), Hugh Lacey (2009), Peter Machamer (1992), Martin Mahner (2012, 2014, 1996 con M. Bunge), Robert Nola (1997, 2003, 2005 con Gürol Irzik), Robert Pennock (2002), Cassandra Pinnick (2005, 2008), Demetris Portides (2007), Jürgen Renn (2013), Michael Ruse (1990), Havery Siegel (1979, 1989, 1993, 1997, 2004), Peter Slezak (2000, 2014), Wallis Suchting (1992, 1995), Paul Thagard (2010 con S. Finaly, 2011), y Emma Tobin (2013).

[2] Véanse al menos Fabio Bevilacque (1996 con E. Giannetto), William Brock (1989, 2014 con Edgar Jenkins), John Hedley Brooke (2010), Ricardo Lopes Coelho (2007, 2009), David Depew (2010), John Heilbron (1983), Mercé Izquierdo-Aymerich (2013), Helge Kragh (1992, 1998, 2014), y Cibelle Celestino Silva (2007).

[3] Véanse al menos *Hermeneutics and Science Education,* 1995, vol. 4, núm. 2; *Religion and Science Education,* 1996, vol. 5, núm. 2; *Philosophy and Constructivism in Science Education,* 1997, vol. 6, núms. 1-2; *Galileo and Science Education,* 1999, vol. 8, núm. 2; *Thomas Kuhn and Science Education,* vol. 9, núms. 1-2; *Constructivism and Science Education,* 2000, vol. 9, núm. 6; *Science Education and Positivism: A Re-evaluation,* 2004, vol. 13, núms. 1-2; *Models in Science and in Science Education,* 2007, vol. 16, núms. 7-8; *Feminism and Science Education,* 2008, vol. 17, núm. 10; *Science, Worldviews and Education,* 2009, vol. 18, núms. 6-7; *Darwinism and Education,* 2010, vol. 19, núms. 4-5, 6-8; *Philosophical Considerations in the Teaching of Biology,* 2013, vol. 22, núms. 1-3; *Philosophical Considerations in the Teaching of Biology,* 2013, vol. 22, núms. 1-3; *Philosophical Considerations in the Teaching of Chemistry,* 2013, vol. 22, núm. 7; *Mendel, Mendelism and Education,* 2015, vol. 24; *Conceptual Change in Science and in Science Education,* 2014, vol. 23.

[4] Pueden encontrarse algunas discusiones útiles sobre la conexión entre la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia en Hacking (1992), Lakatos (1971), McMullin (1970, 1975), Shapere (1997) y Wartosfky (1976).

[5] Algunos de los textos históricos pueden leerse, con introducciones, en Matthews (1989).

[6] Existe una amplia bibliografía sobre la teoría y la práctica de la educación liberal. A veces se le da el nombre de educación “general” o “humanista”. Peters (1996, caps. 1, 2) y Bantock (1981, cap. 4) son introducciones útiles a estas tradiciones.

[7] En su *Science for All Americans,* la AAAS enumera 10 episodios de la historia que han tenido un enorme impacto social y cultural en Occidente y más allá, y que todos los ciudadanos deberían poder apreciar (Rutherford y Ahlgren, 1990, cap. 19).

[8] Los más visibles e influyentes han sido los *National Science Education Standards* de la NRC (NRC, 1996), *Inquiry and the National Science Education Standards* (NRC, 2000), *America’s Lab Report* (NRC, 2006), *Taking Science to School* (NRC, 2007), *A Framework for K-12 Science Education* (NRC, 2012) y *Next Generation Science Standards* (NRC, 2013); *Science for All Americans de la AAAS* (AAAS, 1989), *The Liberal Art of Science* (AAAS, 1990) y *Benchmarks for Science Literacy* (AAAS, 1993).

[9] La bibliografía de la investigación sobre la reforma de la educación de la ciencia en Europa, y en especial el lugar de la HFC en esa reforma, se revisan en Dibattista y Morgese (2014).

[10] La investigación de Miller se revisa en Anelli (2011), Hobson (2008) y Trefil (2008, cap. 6).

[11] Véanse, entre otros, DeBoer (2000), Laugksh (2000), Roberts (2007) y Shamos (1995).

[12] Al respecto, véanse Chapman (1993), Feinstein (2011) y Wynne (2007).

[13] Las discusiones fundamentadas más recientes sobre las creencias paranormales y pseudocientíficas son las de Carl Sagan (1997) y Michael Shermer (1997). Véanse también Mario Bunge (2011) y las contribuciones a *Science & Education,* 2011, vol. 20, núms. 5-6, un número monográfico sobre pseudociencia. W. E. H. Lecky publicó en 1914 un estudio histórico clásico en la materia (Lecky, 1914).

[14] En 2014 cobraban 200 dólares por sentarse allí, y la mayor parte de los servicios astro-psíquicos-astrales

cuestan lo mismo en Sedona.

[15] Oliver Lodge fue sólo uno de cientos de famosos "hombres de ciencia" que acogieron el espiritismo y varios otros movimientos psíquicos de finales del siglo XIX y principios del XX. La Society for Psychical Research tiene 2 710 cartas que un público crédulo le escribió a Lodge. El ex sacerdote católico y profesor de filosofía Joseph McCabe (1867-1995) escribió una crítica convincente de la estructura espiritista-teológica-filosófica de Lodge (McCabe, 1914). Desafortunadamente, las abultadas publicaciones de McCabe sobre teología, filosofía, historia de la ciencia y divulgación de la ciencia son bastante desconocidas hoy día, pero véase Cooke (2001).

[16] Puede encontrarse una buena síntesis de "Science and its critics" en Passmore (1978), y en contribuciones en Gross *et al.* (1996) y Koertge (1998).

[17] Conferencia impartida en el Oxford University Centre for Islamic Studies en junio de 2010. Véase www.princeofwales.gov.uk/media/speeches.

[1] Existe una amplísima bibliografía sobre la Ilustración y su historia. Véanse, cuando menos, Dupré (2004), Gay (1970), Grayling (2007, 2009), Himmelfarb (2004), Israel (2001), Pagden (2013) y Porter (2000).

[2] Sobre esta distinción, consúltese en particular Israel (2001).

[3] Para la delimitación de estas características, véase Shimony (1997).

[4] Se trata de un asunto complejo, pero véase al menos Hunt (2007).

[5] Véase Munck (1990) para una breve introducción a la vida del siglo XVII y descripciones de la servidumbre, la esclavitud, el feudalismo, el despotismo, la ignorancia, el control real y eclesiástico de la imprenta y la expresión, las epidemias de viruela y la plaga, la religión obligatoria, las cacerías de brujas, las arraigadas supersticiones de la época y mucho más.

[6] Como se documenta en el capítulo XII, 400 años después, algunos sociólogos del conocimiento científico afirmarán abiertamente que "hablar sobre algo" crea y hace real la entidad de la que se habla. De Frías, con sentido común, parece dudar sobre esta maniobra ontológica idealista y mal encaminada.

[7] El análisis clásico sobre la revolución científica en Inglaterra es *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England* [Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo XVII, de 1938, Merton, 1938/1970].

[8] Sobre Newton aplicando el método científico a temas bíblicos, véase Buchwald y Feingold (2012).

[9] Para una discusión sobre los personajes principales y las guías bibliográficas sobre "Education and the Enlightenment" [La educación y la Ilustración], véanse Parry (2007) y Schmitter *et al.* (2003).

[10] Para el contexto ilustrado de la teoría educativa de Locke, véase Tarcov (1989).

[11] En el capítulo VII se habla más sobre Priestley. Los estudios definitivos sobre Priestley son los dos volúmenes biográficos de Robert Schofield (1997, 2004); el último contiene una lista bibliográfica completa de los muchos libros, panfletos y artículos que escribió Priestley.

[12] Durante los siguientes 150 años fue la única historia de la óptica en inglés.

[13] Este prestigioso trabajo lo llevó a mantener una correspondencia productiva con Franklin, Volta y muchos otros durante el nacimiento de la ciencia de la electricidad.

[14] Para un contexto y un enfoque más general de la insurrección antijacobina de la década de 1790, véase Thompson (1963/1980, pp. 111-130).

[15] John Bradley, el químico y maestro inglés, organizó sus clases de química en torno a principios machianos (Bradley, 1963-1968) y escribió un útil libro sobre la filosofía de la ciencia de Mach (Bradley, 1971). Mach el educador se analiza en Matthews (1990). La discusión más completa y documentada sobre el tema es la de Siemsen (2014).

[16] Una excelente fuente documental sobre la asombrosa influencia de Mach en la ciencia, la filosofía y más allá es Blackmore *et al.* (2001).

[17] La primera revista de esta clase fue *Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaflichen Unterricht* [Revista de lecciones científicas matemáticas y naturales), que comenzó a publicarse en 1870. La editaba J. C. V. Hoffmann, un maestro de secundaria del pueblo minero sajón de Freibert (gracias a Kathryn Oleso por estos datos).

[18] Una historia estándar es la de Von Mises (1951); algunos textos clásicos se encuentran en Ayer (1959); en Parrini *et al.* (2003) pueden encontrarse algunas opiniones contemporáneas informadas. Véase también la síntesis informativa que hace Thomas Uebel del Círculo de Viena en la enciclopedia en línea *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Uebel, 2012).

[19] La conexión que los positivistas anhelaban entre la ciencia y la filosofía, otras disciplinas y los esfuerzos educativos, políticos y culturales pueden verse en los capítulos de la *International Encyclopedia of Unified Science,* vol. I, editada por Neurath *et al.* (1938). Bertrand Rusell y John Dewey fueron invitados a contribuir a este volumen con textos explícitamente educativos. Véanse Reisch (2005, caps. 1 y 2) y Uebel (1998).

[20] Entre las fuentes de información biográfica se encuentran la autobiografía de Feigl (Feigl, 1974/1981) y la Introducción de Paul Feyerabend al *Festschrift for Feigl* (Feyerabend, 1966).

[21] Para leer más sobre la autonomía como una meta educativa, véase Dearden (1975).

[22] Se ha escrito mucho sobre el tema de la racionalidad y la educación; un buen punto de partida para los argumentos y la bibliografía es Siegel (1997).

[23] B. F. Skinner es explícito en su deuda intelectual con el empirismo lógico. Muchos autores examinan el conjunto del conductismo, el positivismo y la filosofía, pero véanse Mackenzie (1977), Scriven (1956) y Smith (1986).

[24] Para una revisión de la bibliografía sobre Dewey y la enseñanza de la ciencia, en particular su concepción de los elementos históricos y filosóficos en la enseñanza de la ciencia, véase Johnston (2014).

[25] Véanse las contribuciones de Porter y Teich (1952).

[26] La expansión de la ciencia europea, sus vínculos con el imperialismo y su recepción en las colonias es un estudio distinto, pero véase al menos Pyenson (1993).

[27] El octogésimo y último error era creer que: "El pontífice romano puede, y debe, reconciliarse y alcanzar un acuerdo con el progreso, el liberalismo y la civilización moderna". El *Syllabus* completo puede consultarse en <www.papalencyclicals.net>.

[28] Trevelyan regresó a Inglaterra y supervisó la ocupación británica de Irlanda. Resulta notable que, al comentar sobre la hambruna y la epidemia que mató a un millón de personas en 1846-1851, dijo que se trataba de "la voluntad de Dios". Se trata de una apostilla lamentable sobre la incapacidad común de la enseñanza de la ciencia de producir efectos de derrama sobre la inteligencia general o la comprensión social. Sin embargo, para algunos la enseñanza de la ciencia no tiene por qué tener estos efectos de derrama.

[29] La Sociedad Fabiana se fundó en 1884, y el Partido Laborista Inglés en 1900; los escritos y los discursos del filósofo de Cambridge Bertrand Russell y, un poco después, del químico de Cambridge J. D. Bernal tuvieron públicos amplios.

[30] Ambedkar merece conocerse mucho mejor. Entre los primeros "intocables" en tener una educación universitaria, obtuvo doctorados en economía (Universidad de Columbia) y derecho (Universidad de Londres). A pesar de ser el ministro principal de Justicia de India, a Ambedkar no se le permitía dormir en hoteles, pues esto los "contaminaría", los huéspedes los abandonarían y no llegarían unos nuevos. Si bien el tan reverenciado Gandhi trató de atenuar algunas de las peores características del infame sistema indio de castas, nunca rechazó el concepto. Ambedkar luchó contra él toda su vida. Al respecto, véase Jaffrelot (2005).

[31] Sobre estos temas, véanse Mahanti (2013), Nanda (2003, cap. 8), Sarukkai (2014) y contribuciones a Bhargava y Chakrabarti (2010).

[1] George DeBoer (1991) ofrece una historia completa de las ideas principales en la enseñanza de la ciencia. Otras historias de la enseñanza de la ciencia son Glass (1970), Hodson (1987), Rudolph (2002, 2008) y Waring (1979). Los anuarios que publica ocasionalmente la National Society for the Study of Education son buenas fuentes para cartografiar la historia de la enseñanza de la ciencia en Estados Unidos. Incluyen el tercero, *Nature Study* [Estudio de la naturaleza, 1904], el trigésimo primero, *A Program for Teaching Science* [Un programa para enseñar ciencia, 1932], el cuadragésimo sexto, *Science Education in American Schools* [La enseñanza de la ciencia en las escuelas estadunidenses, 1947] y el quincuagésimo noveno, *Rethinking Science Education* [Repensar la enseñanza de la ciencia, 1960].

[2] Parte de este trascendente debate puede leerse en Armstrong (1903), Dewey (1910), Huxley (1885/1964), Mach (1886/1986) y Nunn (1907).

[3] En Mann (192) y Woodhull (1910) puede leerse sobre este debate de principios de siglo.

[4] Otros textos que solían usarse eran: *Applied Biology* [Biología aplicada], Bigelow y Bigelow, 1911; *A Civic Biology* [Una biología cívica], Hunter, 1914, *Practical Biology* [Biología práctica], Smallwood, Reveley y Bailey, 1916; *Civic Biology* [Biología cívica], Hodge y Dawson, 1918; *Biology and Human Welfare* [Biología y bienestar humano], Peabody y Hunt, 1924.

[5] Para una revisión completa de la bibliografía sobre el compromiso de la enseñanza de la ciencia con la filosofía de la educación, véase Schulz (2014).

[6] Muchas fuentes narran la historia de esta crisis durante la década de 1950 y las reformas educativas concomitantes. Algunas fuentes útiles son De Boer (1991), Jackson (1983), Klopfer y Champagne (1990), Raizen (1991), Rudolph (2002) y Welch (1979).

[7] Jerome Brunder dice sobre Zacharias que “fue Zack, más que nadie, quien convirtió la conmoción del *Sputnik* en el movimiento de reforma curricular en el que se convirtió en vez de tomar alguna otra forma” (Bruner, 1983, p. 180).

[8] En 1963, en la Conferencia Internacional de Enseñanza de la Física de la IUPAP, que se celebró en Rio de Janeiro, Zacharias reportó que se habían hecho traducciones al español, portugués, hebreo, japonés, turco, thai, sueco, danés, francés y noruego, y que había otras pendientes (Zacharias, 1964, p. 68).

[9] En Rudolph (2002, cap. 5) puede encontrarse una discusión sobre la teoría educativa tras el PSSC.

[10] En Andersen (1960, sec. 7) se encuentran reunidos artículos de presentación de cada uno de estos planes de estudio.

[11] Otra revisión de estos estudios de caso puede encontrarse en Klopfer (1964).

[12] La publicación del NCEE recibió una amplia cobertura mediática. Aparecieron artículos con encabezados tales como “Can American schools produce scientifically literate high school graduates?” [¿Pueden las escuelas estadunidenses producir egresados de preparatoria científicamente alfabetizados?] y “Can democracy survive scientific illiteracy?” [¿Puede la democracia sobrevivir el analfabetismo científico?] (Bauer, 1992, p. 1).

[13] Gerald Holton, un miembro de la National Commission on Excellence in Education (NCEE), que preparó el reporte, ha ofrecido un relato de sus perturbadores contenidos, que documentan la “oleada de mediocridad” en la educación estadunidense y hacen recomendaciones para revertirla (Holton, 1986).

[14] William McComas (2014) ofrece una historia detallada y comentada sobre estos avances.

[15] El proyecto comenzó en 1985, que fue el año de la visita del cometa Halley; 2061 es el año de su próxima visita. La AAAS pensó, con realismo, que la enseñanza de la ciencia podría mejorarse en ese lapso.

[16] Sobre la disputa de las fronteras en la filosofía de la ciencia, véanse al menos Laudan (1993), Mahner (2007) y Pennock (2011).

[17] *El Biological Sciences Curriculum Study* [Estudio curricular de las ciencias biológicas] publicó una colección de documentos de trabajo sobre la historia y la filosofía de la ciencia para maestros que puede ayudar a este compromiso; el artículo de Peter Machamer (1992) “Philosophy of science: An overview for educators” [La

filosofía de la ciencia: Un panorama general para educadores] es particularmente útil.

[18] Véanse al menos Fantoli (1994, cap. 7), Finocchiaro (1989, 2005), McMullin (2005) y Redondi (1988).

[19] Para una discusión sobre este asunto, véanse Gauld (2005) y Good (2005).

[20] El borrador, de 320 páginas, está disponible en forma gratuita en la página de internet de la National Academies Press; se titula *A Framework for K-12 Science Education* [Un marco conceptual para la enseñanza de K-12]. Los estudios de contexto para los estándares de ciencia de nueva generación se encuentran en NRC (2007).

[21] No fue sino hasta la Ley de Educación de 1870 que apareció la educación primaria patrocinada por el Estado, y hasta las leyes de 1902 y 1903 que aparecieron las escuelas secundarias estatales. Sobre la historia de la enseñanza de la ciencia en Gran Bretaña, véanse al menos Brock (1989, 1996), Jenkins (1979, 2013), Layton (1973) y Taylor y Hunt (2014).

[22] En Brock (1973) y Jenkins (1979) pueden encontrarse relatos sobre la vida, la época y los logros de Armstrong. *The Teaching of Scientific Method and Other Papers on Education* [La enseñanza del método científico y otros artículos sobre educación] (Armstrong, 1903) es una antología de 24 de sus artículos y conferencias.

[23] En Brock y Jenkins (2014) puede leerse una extensa historia de la vida, la obra y los textos de Westaway.

[24] En Jenkins (2014) pueden encontrarse detalles sobre su vida y su obra.

[25] Las opiniones de Bradley se presentan en muchos artículos publicados en *The School Science Review* a lo largo de 40 años. Su primer artículo en la revista se publicó en 1933. En 1957, profundizó su aproximación a la química molecular en una serie de artículos, en el vol. 39, 1957; vol. 39, 1958; vol. 40, 1959, y vol. 42, 1961. Su famoso "The copper problema" [El problema del cobre], donde defiende la heurística de Armstrong ante la ciencia de Nuffield, se desarrolla en ocho artículos de *The School Science Review:* 1963, 1964, 1964, 1965, 1966, 1967, 1967 y 1968. *Chemistry by Discovery* [La química mediante el descubrimiento] de G. van Praagh es otro ejemplo de la heurística de Armstrong.

[26] El historiador Stephen Pumfrey publicó, como recordatorio de que las adhesiones curriculares a la historia y filosofía de la ciencia deben elaborarse y evaluarse, una elaborada crítica de los supuestos de la historia y filosofía de la ciencia en los documentos del NCC (Pumfrey, 1991).

[27] Duncan Graham, el primer presidente del NCC, describe las desagradables políticas de las revisiones de la NCC (Graham, 1993). Existen serios cuestionamientos sobre el grado en el que pueden lograrse los claros éxitos de la historia y filosofía de la ciencia del reporte de 1988 mediante los lineamientos del segundo reporte del NCC y los que le siguieron. Los orígenes políticos y las implicaciones educativas de la Ley de 1988 se discuten en Flude y Hammer (1990) y Taylor y Hunt (2014).

[28] Martin Monk y Jonathan Osborne (1977) aclaran estas consideraciones.

[29] En Vesterinen *et al.* (2014) puede encontrarse un análisis detallado de las semejanzas entre las tradiciones de ciencia, tecnología y sociedad, y de historia y filosofía de la ciencia.

[30] Los estudios en ciencia, tecnología y sociedad no eran nuevos; tradicionalmente habían sido parte de las historias de la ciencia de orientación marxista, entre las cuales los trabajos de Bernal (1939) y Hogben (1940) resultan ejemplares. El trabajo de John Ziman se ocupó de muchos de los problemas filosóficos y disciplinarios clave de ciencia, tecnología y sociedad (Ziman, 1968, 1980, 1994).

[31] En Bennett *et al.* (207) puede leerse un estudio reciente sobre la efectividad de la enseñanza ciencia, tecnología y sociedad.

[32] En Metz (2014) se analizan las iniciativas canadienses de ciencia, tecnología y sociedad, y de historia y filosofía de la ciencia.

[33] En Sadler (2011) y Zeidler y Sadler (2008) puede encontrarse una discusión al respecto.

[34] De la vasta bibliografía sobre el enfoque de la indagación durante la década de 1960, los títulos siguientes son de particular utilidad: Ausubel (1964/1969), Bruner (1961), Rutherford (1964), Schwab (1960) y contribuciones a Shulman y Keislar (1966).

[35] Estos aspectos de la enseñanza mediante la indagación se revisan minuciosamente en Kelly (2104).

[36] Sobre el papel de la historia y filosofía de la ciencia en la obra de Schwab, véase DeBoer (2014).

[37] Bruner escribió un informe directivo de la conferencia Woods Hole, que se publicó con el título *The Process of Education* [El proceso de la educación, Bruner, 1960] y que se convirtió en un éxito de ventas internacional que se tradujo a 19 idiomas y fue descrito por el *New York Herald Tribune* como un “clásico, comparable por su importancia filosófica y su concreción humana a los ensayos sobre educación de Dewey”. En la autobiografía de Bruner, *In Search of Mind* [En busca de la mente, 1983, pp. 181-188), puede encontrarse una historia más personal de la conferencia.

[38] Para un análisis de algunos de los problemas fundamentales del aprendizaje por indagación que surgieron de estos primeros esfuerzos, véanse Atkinson y Delamont (1977), Ausubel (1964/1969), Dearden (1967), Harris y Taylor (1983), Herron (1971), Strike (1975), Wellington (1981) y contribuciones a Shulman y Keislar (1966). Para una revisión contemporánea de este campo, véase Kelly (2014).

[39] Hay páginas de internet de cada proyecto, todos bajo el manto de la Unión Europea.

[1] Para los textos y argumentos de Fleck, véase su antología de ensayos en Cohen y Schnelle (1986).

[2] Esta función "integradora" de la historia se desarrollará más adelante, en los capítulos dedicados al movimientos del péndulo (cap. VI) y a la fotosíntesis (cap. VII), respectivamente.

[3] Para consultar algunas revisiones de la accidentada carrera de la historia en la enseñanza de la ciencia en Estados Unidos, véanse Brush (1989) y Klopfer (1969a, 1992). Kauffman (1989) analiza en particular el uso de la historia en la enseñanza de la química.

[4] Véanse los artículos de Sammis (1932), Oppe (1936) y Jaffe (1938, 1955), y el texto de Jaffe (1942), reimpreso con frecuencia.

[5] Para algunos de los primeros análisis de la teoría de Kuhn, véanse Gutting (1980), Lakatos y Musgrave (1970), Shapere (1964) y Shimony (1976).

[6] Fue un discurso de 1950 pronunciado en la American Association of Physics Teachers: "A sense of history in science" [Una idea de historia en la ciencia, Cohen, 1950]. Tras obtener su doctorado en historia de la ciencia, el segundo título de esta clase que se concedió en Estados Unidos, Cohen dio clases en el curso de ciencia general y escribió su propio libro de gran éxito, *The Birth of a New Physics* [El nacimiento de una nueva física, Cohen, 1961], para el comité de física escolar del PSSC.

[7] La primera edición contenía ocho casos: tres de biología (La sexualidad de las plantas, Las ranas y las bacterias, Células de la vida); dos de química (El descubrimiento del bromo, La química del aire fijo) y tres de física (Las líneas de Fraunhofer, La velocidad de la luz, La presión atmosférica).

[8] Joseph Schwab estuvo involucrado durante mucho tiempo con la Universidad de Chicago y se empapó de la tradición de los "grandes libros". En forma simultánea pero independiente de Kuhn, expuso una distinción entre los periodos "fluidos" y "estables" de la investigación científica que equivale a la noción de Kuhn, más célebre, de ciencia "revolucionaria" y ciencia "normal" (Siegel, 1978). En Ford y Pugno (1964) y Westbury y Wilkof (1978) pueden encontrarse selecciones de sus artículos. DeBoer (2014) revisa su trabajo y sus logros.

[9] El filósofo e historiador William Whewell fue uno de los primeros defensores de las contribuciones que ha hecho la historia de la ciencia a la educación general (Whewell, 1855). Bill Brock (1989), Edgar Jenkins (1979, 1990) y W. J. Sherratt (1983) han documentado bien esta tradición.

[10] Estos reportes fueron materia de muchos debates y controversias; hubo quien incluso los calificó de "alternativas a la enseñanza de la ciencia" (Jenkins, 1998).

[11] Para una discusión sobre la teoría errónea de Galileo sobre las mareas, véanse Brown (1976) y Shea (1970).

[12] Ésta es la expresión que acuñó Gaston Bachelard (Bachelard, 1934/1984) para identificar los obstáculos conceptuales arraigados en las investigaciones científicas.

[13] El torr, la unidad que se usa para medir el vacío, y el pascal, la unidad internacional de presión, perpetúan sus nombres hasta el día de hoy.

[14] Para una discusión al respecto de la controversia sobre el vacío en el siglo XVI, véase Schmitt (1967).

[15] Como se explorará a profundidad en el capítulo IX, para los no realistas postular mecanismos invisibles es un atajo; se trata de formas abreviadas, cómodas, de vincular entre sí regularidades fenomenológicas.

[16] La historia de la ciencia de la presión atmosférica es bastante compleja y los expertos discrepan en varios aspectos. Un autor útil para empezar es Middleton (1964). Shapin y Schaffer (1985) han reunido un extenso estudio de caso sobre las interacciones entre la ciencia y la filosofía en el debate entre Hobbes y Boyle sobre los famosos experimentos de este último con la bomba de aire.

[17] Véase Kragh (1992) para una revisión del tema.

[18] Sobre este episodio, véase Dolphin y Dodick (2104).

[19] Sobre las opiniones de Kuhn sobre la enseñanza de la ciencia, véanse Andersen (2000), Kindi (2005), Matthews (2004), Siegel (1979) y contribuciones en Matthews (2000a).

[20] La expresión la usó por primera vez el sociólogo Michel Verret en 1975, y la desarrolló en 1985 Yves Chevallard en su libro *La transposition didactique.*

[21] Véase el capítulo 10 de Kragh (1978) para una revisión de dichas influencias.

[22] La postura de Piaget se describe en forma más completa en Piaget y García (1989). Véanse Franco y Colinvaux-de-Dominguez (1992) y contribuciones a Strauss (1988).

[23] Entre las contribuciones más populares se encuentran Carey (2009), Gopnik (1996), Kitcher (1988) y Vosniadou (2013). Dunst y Levine (2014) analizan esta tradición de investigación.

[24] Para revisar parte de la bibliografía, véanse DiSessa y Sherin (1998), Limón y Mason (2002), Nersessian (1989, 2003) y West y Pines (1985).

[25] Para simplificar el problema, Strike y Posner no se comprometen completamente con el problema de usar a Kuhn para identificar el cambio conceptual racional; ésta es precisamente la posibilidad que Kuhn niega en sus "textos púrpuras".

[1] Algunos estudios útiles sobre las dimensiones filosóficas de la ciencia son Amsterdamski (1975), Buchdahl (1969), Burtt (1932), Cushing (1998), Dilworth (1996/2006), Gjersten (1989), Mayr (1988), Shimony (1993), Smart (1968), Trusted (1991) y Wartosfky (1968).

[2] La famosa antología de textos sobre Einstein que editó Paul Arthur Schilpp se titula *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (Schilpp, 1951).

[3] Véanse, por ejemplo, Bohm (1980), Bohr (1958), Boltzmann (1905/1974), Born (1968), Duhem (1906/1954), Eddington (1939), Heisenbert (1962), Jeans (1943/1981), Mach (1883/1960), Planck (1936) y Von Helmholtz (1995).

[4] Véanse, por ejemplo, Bridgman (1950), Bunge (1973, 1998a, 1998b), Campbell (1921/1952), Chandrasekhar (1987), Cushing (1998), D'Espagnat (2006), Holton (1973), Margenau (1950, 1978), Rabi (1967), Rohrlich (1987), Weinberg (2001) y Shimony (1993).

[5] Por ejemplo, Bernal (1939), Birch (1990), Haldane (1928), Hull (1988), Mayr (1982), Monod (1971), Polanyi (1958) y Wilson (1998). Francis Collins, el genetista líder del Proyecto Genoma Humano, hace una contribución reciente al género (Collins, 2007).

[6] Véase, por ejemplo, la clásica crítica de Susan Stebbing a las conclusiones filosóficas idealistas a las que llegaron los famosos físicos británicos James Jeans y Arthur Eddington (Stebbing, 1937/1958). Véanse también las críticas de Mario Bunge a las conclusiones idealistas y subjetivistas a las que llegaron a partir de la mecánica cuántica David Bohm, Niels Bohr y muchos defensores de la escuela de Copenhague (Bunge, 1967, 2012). Estas críticas ponen de relieve el hecho de que los científicos básicamente estaban interesados en la filosofía, pero no eran filósofos profesionales.

[7] Existe una cantidad inmensa de libros sobre la visión del mundo de la física moderna; véanse, por ejemplo, contribuciones a Cushing y McMullin (1989), en particular la de Abner Shimony, "Search for a worldview which can accomodate our knowledge of microphysics" (Shimony, 1989). Véanse también las contribuciones al número especial de *Science and Education* que se ocupa de la "Teoría y la filosofía cuántica" (vol. 12, núms. 5-6, 2003) y el número especial sobre "Ciencia y visiones del mundo" (vol. 18, núms. 6-7, 2009).

[8] Para una discusión instructiva, véanse al menos Agassi (1964), Burtt (1932), Collingwood (1945), Holton (1988) y Wartofsky (1968).

[9] Reconocer la dependencia cultural de la ciencia no significa aceptar el relativismo o la inconmensurabilidad entre ciencias o teorías, si bien esta inferencia se cita con frecuencia. Esto equivale a decir que, puesto que existe un elemento cultural en el desempeño matemático en las escuelas coreanas, este desempeño no puede compararse con el de otras naciones.

[10] Véanse Lipman (1991), Lipman y Sharp (1978), G. B. Matthews (1982) y Sprod (2011, 2014).

[11] Para estas demostraciones, véase McDermott y Physics Education Group (1995). Sobre los experimentos de Galileo con el plano inclinado, véase Palmieri (2011); sobre su uso en el aula, véase Turnet (2012).

[12] Para una discusión profunda e instructiva sobre este argumento, véase Buckley (1971).

[13] Sobre la teoría medieval del ímpetu, véanse Clagett (1959) y Moody (1975).

[14] Una discusión clásica es la de Clavelin (1974).

[15] Véanse Ellis (1965) y Hanson (1965) para excelentes discusiones sobre la formulación de la inercia de Newton. Sobre la fuerza, véanse Ellis (1976), Hesse (1961), Hunt y Suchting (1969) y Jammer (1957).

[16] Véanse en particular los de Arnold Arons (Arons, 1977, caps. 14-15; 1990, cap. 3), Gerald Holton y Stephen Brush (Holton y Brush, 2001, cap. 9), James Trefil (1978) y los textos del Harvard Project Physics (Holton *et al.,* 1974).

[17] Ricardo Lopes Coelho, en una publicación reciente, discute tanto la bibliografía histórica como la pedagógica sobre este tema (Coelho, 2007); Calvin Kalman (2009) desarrolla y ajusta algunos de los argumentos de Coelho.

[18] El argumento de Mach se discute en Matthews (1989), y el de Scheffler en Matthews (1997).

[19] Las discusiones clásicas sobre los experimentos mentales en la historia de la ciencia son las de Koyré (1953/1968, 1960), Kuhn (1964) y Mach (1896/1976). Más recientemente su función histórica y filosófica ha sido discutida por Bokulich (2001), Brown (1991), Brown y Feighe (2011), Gendler (2000, 2004), Norton (2004), Schlesinger (1996) y Sorensen (1992). Martin Cohen (2005) enumera y discute 26 experimentos mentales; véanse también contribuciones a la antología *Thought Experiments in Science and Philosophy,* editada por Horowitz y Masse (1991).

[20] Es importante distinguir la "visión aceptada" de la de Aristóteles, pues con frecuencia se confunden entre sí. La idea generalizada puede ser aristotélica, pero como señala Lane, hay pocas evidencias textuales que permitan atribuírsela al mismo Aristóteles. Galileo, en la página 68 de su *Nueva ciencia,* le atribuye a Aristóteles la afirmación de que "una bola de hierro de 100 libras que cae de la altura de 100 brazas golpea el suelo antes de que una de una libra haya descendida una sola braza". Nadie ha podido encontrar este fragmento en Aristóteles. Lane lo llama un "puro invento" de Galileo. El episodio se discute en Brackenridge (1998).

[21] Sobre la concepción aristotélica del movimiento natural, véase Graham (1996).

[22] Sobre el uso de Einstein de los experimentos mentales, véanse Brown (1991/2010, pp. 15-20) y Norton (1991).

[23] Mach mismo habla sobre los experimentos mentales en el capítulo 11 de *Knowledge and Error* (Mach, 1905/1976). En Hiebert (1974) puede encontrarse una introducción a sus ideas.

[24] Algunos artículos particularmente útiles son Blown y Bryce (2013), Galili (2009), Helm y Gilbert (1985), Helm *et al.* (1985), Özdemir y Kösem (2014), Reiner y Burko (2003), Reiner y Gilbert (2000), Stephens y Clement (2012), Velentzas y Halkia (2011, 2013) y Winchster (1990). La tradición de investigación mediante experimentos mentales se revisa en su totalidad en Asikainen y Hirvonen (2014).

[25] Resulta deprimente leer lo que se aprende en los experimentos escolares típicos. Véanse al menos Carey *et al.* (1989), Hodson (1993, 1996) y Jenkins (1999).

[26] Véanse al menos Hooker (2011), Parker (2008), Wimsatt (2007) y Winsber (2010).

[27] Véanse al menos Arriassecq *et al.* (2014), De Jong *et al.* (2013), Scalise *et al.* (2011) y Smetana y Bell (2012).

[28] Véase, por ejemplo, Siegel (1995).

[29] Erduran y Jiménez-Aleixandre (2008) y Khine (2012).

[30] Véanse al menos Böttcher y Meisert (2011), Bricker y Bell (2008), Jiménez-Aleixandre y Erduran (2008), Kuhn (2010), Nielsen (2012, 2013) y Sampson y Clark (2008). La tradición de investigación se examina en Adúriz-Bravo (2014).

[31] Sobre estos ejercicios véase Scriven (1976, cap. 3). En 1966, la mitad del curso de lógica de primer año de David Stove en la Universidad de Sidney consistía en únicamente cinco ejercicios; eran de un valor incalculable para sintonizar las mentes adolescentes con la estructura y la evaluación de argumentos dentro y fuera de la filosofía.

[32] Una excelente fuente de consulta sobre esta tradición es *To Save the Phenomena: An Essay on the Idea of Physical Theory from Plato to Galileo* de Pierre Duhem (Duhem, 1908/1969).

[33] Véase Gillies (1998) sobre la diferencia entre las tesis de Duhem y la de Quine. En Hardin (1976) puede consultarse una colección de artículos sobre la tesis Duhem-Quine.

[34] Desde el *postscriptum* de 1970 a *La estructura,* Kuhn reconoce ya que hubo "aspectos de esta formulación inicial que crearon dificultades y confusiones gratuitas". Más tarde se arrepintió en forma explícita de haber escrito estos "textos púrpuras" (Kuhn, 1991/2000), pero para entonces el caballo irracionalista ya había comenzado a pastar en innumerables prados filosóficos, sociológicos y educativos.

[35] Para una muestra de algunas defensas convincentes del racionalismo y de la función de búsqueda de la verdad de la ciencia véanse, entre otros muchos, Brown (1994), Devitt (1991), Musgrave (1999), Newton-Smith (1981), Nola e Irzik (2005), Scheffler (1982), Shapere (1984), Shimony (1976), Siegel (1987) y Smith y Siegel (2004).

[36] Dos revisiones sobre la primera oleada de obras sociológicas, cada una de las cuales cita cientos de artículos, son Mulkay (1982) y Shapin (1982). Para críticas al programa fuerte, véanse, entre muchos otros, Brown (1984), Bunge (1991, 1992), Nola (1991, 2000) y Slezak (1994a, 1994b).

[37] Algunos estudiosos sostienen que Foucault considera que su tesis de "el poder es conocimiento" sólo se aplica a las ciencias sociales y las humanidades, y que no pretendía que sirviera también para las ciencias naturales (Guttin, 1989, p. 4).

[38] En Matthews (1980, cap. 6) se encuentra una historia del desarrollo de las pruebas y las teorías sobre la inteligencia.

[39] Véanse Birstein (2001), Graham (1973, 1998), Joravsky (1970), Lecourt (1977) y Lewontin y Levins (1976).

[40] Véanse Cross y Price (1992), Musschenga y Gosling (1985), Ratcliffe y Grace (2003) y contribuciones a Zeidler (2003) y Zeidler y Sandler (2008).

[41] El intercambio entre Eger, Hesse, Shimony y otros (*Zygon,* vol. 23, núm. 3, 1988) sobre "racionalidad de la ciencia y ética" (reproducido en Matthews, 1991) muestra los beneficios de aspirar a un mínimo de sofisticación filosófica en estos temas. Los filósofos Alberto Cordero (1992) y Michael Martin (1986/1991) ofrecen una discusión profunda y disciplinada sobre la interrelación entre la ciencia, la ética y la educación. El campo de investigación se analiza en Couló (2014).

[42] Se trata de "Mapping and sequencing the human genome: Science, ethics and public policy" (BSCS, 1992), "Genetics – Ball State Model" (Ball State University, Muncie, IN) y "Teacher education in biology" (San Francisco State University, San Francisco). Los programas se discuten en Blake (1994).

[43] El deprimente caso de los nazis se documenta en el libro de Diarmuid Jeffrey de 2008, cuyo subtítulo es *IG Farben and the Making of Hitler's War Machine* (Jeffreys, 2008). Véase también el libro de John Cornwell de 2003, con el subtítulo *Science, War and the Devil's Pact* (Cornwell, 2003).

[44] El caso de la Unión Soviética, igualmente deprimente, está documentado en *The Perversion of Knowledge,* de Vadim Birnstein (Birnstein, 2001).

[45] Véanse, entre una cantidad enorme de buenos libros, *Impure Science*, de Robert Bell (Bell, 1992), *Science, Money and Politics,* de D. S. Greenberg (Greenberg, 2001) y *America by Design* de David Noble (Noble, 1979).

[46] Bacon no creía necesario negar o erradicar estas influencias, sólo reconocerlas y corregirlas cuando fuera necesario; le alegraba que la nueva ciencia sirviera para fines sociales y promoviera el bienestar. Para una discusión instructiva sobre los textos de Bacon y su contexto filosófico, véanse Gaukroger (2001, pp. 118-131) y Urbach (1987, cap. 4).

[*] En inglés *kudos* significa fama o prestigio. [T.]

[47] El capítulo repite el argumento, más discutido, de Rudner (1953).

[48] Véanse al menos Carrier (2013), Davson-Galle (2002), Develaki (2008), Doppelt (2008), Douglas (2009), Kitcher (2001), Lacey (2005), Longino (1990, 2008), Machamer y Douglas (1999), Resni (1998, 2007), Rooney (1992) y Ruphy (2006). Véanse también contribuciones a Carrier *et al.* (2008) y Dupré *et al.* (2007).

[49] Mario Bunge advierte: "La hipótesis más sencilla puede ser también la más ingenua, y los métodos más simples los menos exactos y rigurosos" (Bunge, 1963, p. 86).

[50] Se pueden ver otras contribuciones tempranas en antologías como las de J. Harding (1986), Harding y Hintikka (1983), Keohane *et al.* (1982), Loew y Hubbard (1983) y Tuana (1989b).

[1] Este capítulo se ha alimentado de diversas investigaciones publicadas por Matthews (2000, 2001, 2014).

[2] Véase en el cap. III la descripción de la filosofía y el impacto internacional de la física del PSSC.

[3] No hay una buena historia del péndulo medieval, pero véanse Büttner (2008) y Hall (1978).

[4] Véanse Büttner (2008), Lefévre (2001), Machamer (1988) y contribuciones a Renn (2001).

[5] Galileo sin duda tuvo precursores. Hubo filósofos naturales medievales —John Buridan, Nicolás Oresme, Thomas Bradwardine y sus colegas del Merton College, y otros más— que emplearon matemáticas, pero éstas no tenían una relación con su física (su filosofía natural) tan plena como la que tuvieron para Galileo. Véanse Clagett (1959) y Moodey (1975).

[6] Éste será un tema recurrente en la historia de las ciencias que tiene relación con el péndulo, pues hay muchos procesos mecánicos, biológicos y químicos diferentes que manifiestan las fórmulas matemáticas para el movimiento armónico simple.

[7] Esta idealización vital como un rasgo de la física de Galileo se discute en Koertge (1977) y McMullin (1985).

[8] Ronald Naylor (1980, pp. 367-371) y W. C. Humphreys (1967, pp. 232-234) discuten la carta en el contexto del trabajo de Galileo sobre la ley de la caída.

[9] En White (1966, p. 109) se encuentran algunas discusiones y referencias.

[10] Una reacción común a la matematización de la psicología y las “cajas y flechas” de la ciencia cognitiva moderna.

[11] Esta brecha entre la “experiencia vivida” y la conceptualización científica pesa específicamente sobre la enseñanza de las leyes de la inercia, como hemos discutido en el capítulo V.

[12] Estos problemas de la ciencia aristotélica medieval son los mismos que para la enseñanza “mediante el descubrimiento”, “mediante la indagación” o “mínimamente guiada”: sin guía o instrucción no hay aprendizaje.

[13] Este episodio se desarrolla en Matthews (2001).

[14] Pueden encontrarse historias de la evolución del metro estándar en Alder (1995, 2002) y Kula (1986, caps. 21-23).

[15] Sobre la historia del debate acerca de la forma de la Tierra, véase Chapin (1994).

[16] Véase Martins (1993).

[17] Sobre el papel del péndulo en esta unificación, véase sobre todo Boulos (2006).

[18] Esta historia se trata en Matthews (2000, caps. 6, 7).

[19] Maurice Finocchiaro (1980, p. 149) elaboró un cuadro con 14 temas filosóficos que se encuentran en los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* de Galileo (1632/1953).

[20] Jaroslav Pelikan escribió un estudio histórico muy bien documentado sobre este tema (Pelikan, 1985).

[21] Sobre la física y las matemáticas de estos cálculos, véase Holton y Brush (2001, pp. 128-129).

[22] Feinstein profundiza sobre su postura personal cuando escribe: “Yo sostengo que conocer la forma de la Tierra es parte de estar ‘bien leído’ en ciencia; es excelente, sin duda, un dato que puede traernos mucha alegría y satisfacción, pero no uno que pueda resultarle útil a nuestros alumnos” (Feinstein, 2011, p. 183).

[23] Sobre este importante avance conceptual, véase Moody (1975, p. 403).

[24] En décadas recientes, algunos filósofos han recuperado la alta estima que sentía Kant por los experimentos en ciencia, y han escrito obras reveladoras sobre este tema. Véanse al menos Hacking (1988) y contribuciones a Radder (2003) y Goodin *et al.* (1989).

[25] El de Nowak (1980) es un amplio estudio sobre la lógica de la idealización en ciencia. Véanse también Laymon (1985) y Portides (2007).

[26] Esta epistemología objetivista está articulada en Popper (1972, caps. 3, 4), Althusser y Balibar (1970), Baltas (1988, 1990), Chalmers (1976/2013), Mittelstrass (1972), Sneed (1979) y Suchting (1986).

[27] Véanse Irzik (1995) y Musgrave (1974).

[28] Véanse en particular Hodson (1986) y Norris (1985).

[29] Sobre esta tradición, véase Yolton (2000).

[30] Norwood Russell Hanson hizo eco de Platón cuando escribió: "vemos más de lo que salta a simple vista" (Hanson, 1958). Para conocer una amplia variedad de lecturas del siglo XX sobre la filosofía de la percepción, véase Swartz (1965).

[31] James Bogen y James Woodward (1988), James Woodward (1989), Ronald Laymon (1982, 1984) y James Brown (1996) han desarrollado a profundidad la diferencia entre los datos científicos y los fenómenos científicos. Para una interpretación de la obra de Galileo en términos de la distinción entre datos y fenómenos, véase Hemmendinger (1984). Esta conceptualización puede contribuir a aclarar en buena medida algunos problemas de la investigación educativa, pero rara vez se emplea; véase la discusión en Brian Haig (2014, cap. 2) y Matthews (2004).

[32] Para un análisis del significado de "fenómenos" en la obra de Isaac Newton, véase Achinstein (1990).

[33] Véanse al menos Barnett (1988), Landes (1983), Turetzky (1998) y Van Rossum (1996).

[34] La portada de un excelente folleto sobre el péndulo publicado para los alumnos japoneses de educación básica está toda adornada con imágenes de Galileo y de Huygens: es un lindo comentario sobre la universalidad de la ciencia y su capacidad de ser aceptada por culturas distintas a las de su hogar europeo original.

[35] Sobre el uso de la investigación sobre el péndulo en el aula como una forma de enseñar física y de cultivar y evaluar las capacidades de razonamiento científico, véanse al menos Kanari y Millar (2004), Kown *et al.* (2006), Stafford (2004), Zachos (2004) y las más de 100 referencias que se encuentran en Gauld (2004).

[36] Es la misma frase que un decano de estudios de la ciencia reportó que usaron en Australia 10% de los alumnos de alto rendimiento entrevistados, la mayor parte de los cuales decidió no seguir programas terciarios de ciencia.

[37] La idea de esta representación visual del argumento proviene de la conferencia de la AAAS que dio Gerald Holton, más tarde publicada como Holton (1991).

[1] Este capítulo está basado en investigaciones publicadas en Matthews (2009).

[2] Entre una infinidad de estudios que documentan que los niños no entienden adecuadamente la fotosíntesis (en función de su edad y grado), véanse Cañal (1999), Eisen y Stavy (1988), Wandersee (1985) y las referencias en estos materiales.

[3] El término "fotosíntesis" fue acuñado en 1898 por el inglés Charles Barnes (1858-1910) para denotar el complejo proceso bioquímico de la "síntesis de compuestos complejos de carbono a partir de ácido carbónico, en presencia de clorofila, bajo la influencia de la luz" (Gest, 2002, p. 7).

La ecuación del proceso es:

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{energía solar} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

[4] Para más detalles, véase el capítulo II y sus referencias.

[5] El estudio biográfico definitivo y exhaustivo de Priestley es la obra en dos volúmenes de Robert Schofield (Schofield, 1997, 2004). Véanse también los estudios de William Brock (Brock, 2008) y John McEvoy (McEvoy, 1978-1979, 1990; McEvoy y McGuire, 1975) y contribuciones a Rivers y Wykes (2008) y Anderson y Lawrence (1987).

[6] En sus *Memoirs* [Memorias] Priestley escribe: "En ocasiones sentí tal angustia mental que no soy capaz de describirla, y la sigo recordando con horror" (Priestley, 1806/1970, p. 71).

[7] Para una historia de las academias disidentes, véase Wykes (1996).

[8] En su biografía de Newton, Richard Wesfall dice que en esa época Cambridge "se estaba convirtiendo a toda velocidad en un páramo intelectual" (Westfall, 1980, p. 190).

[9] Un buen libro de divulgación sobre los vínculos intelectuales de Priestley y Lavoisier es *A World on Fire* [Un mundo en llamas] de Jackson (Jackson, 2005).

[10] Para una selección de los escritos políticos de Priestley, véase Miller (1993).

[11] Para algunos estudios sobre Priestley en América, véase Graham (2008).

[12] La que fuera la casa de Priestley en el pueblo sirvió durante mucho tiempo como el Museo y Centro de Investigación Priestley. Lamentablemente los recortes presupuestales lo obligaron a cerrar.

[13] Existen muchos estudios sobre la vida teológica y religiosa de Priestley; véanse en particular Brooke (1990) y Wykes (2008).

[14] En Schofield (2004, pp. 407-422) se encuentra una bibliografía completa de los libros, panfletos y artículos de Priestley.

[15] Véanse las referencias del capítulo II.

[16] En la época, "filosofía moral" cubría mucho terreno: se refería en general a todos los estudios distintos a la "filosofía natural" (o ciencia, en términos modernos).

[17] Sobre el materialismo de Priestley, véase Priestley (1778). Para una exposición y discusión crítica sobre su postura, véanse Schofield (1970, pp. 261 y ss.) y Dybikoswki (2008).

[18] Los maestros modernos que tratan de disuadir a los alumnos de sus nociones "fluidas" sobre la electricidad están siguiendo los pasos de Priestley.

[19] Se trataba de una lupa de 30 cm con una distancia focal de 50 cm que producía más calor que por cualquier otro medio disponible. Los químicos del continente supuestamente lo usaban para derretir diamantes.

[20] Todos los artículos de las *Transactions* de la Royal Society están disponibles ahora en la página web de la Sociedad.

[21] Para más detalles sobre el artículo y la Medalla Copley, véanse Guerlac (1957) y McKie (1961).

[22] A pesar de que han pasado 60 años desde su publicación, una exposición excelente sobre el desarrollo histórico de los primeros estudios sobre la fotosíntesis es el ensayo de Leonard Nash en *Harvard Case Studies in Experimental Science,* de James Conant (Nash, 1948, pp. 369-434). Para un trabajo más reciente, véase Magiels

(2010).

[23] Véase la excelente edición de Jonathan Barnes de *Collected Works* de Aristóteles, en dos volúmenes (Barnes, 1984).

[24] Para una visión matizada de esta interpretación estándar de Aristóteles, véase Newman (2004, cap. 5).

[25] Lo llamó “fijo” porque pensaba que era un aire atrapado o “fijado” en calcio y en otros carbonatos metálicos; al calentarse, se liberaba el aire; al disolverse en cal muerta y precipitarse, se fijaba nuevamente.

[26] Para una discusión informada sobre la Providencia y la ciencia, véanse al menos Funkenstein (1986) y contribuciones a Lindberg y Numbers (1986).

[27] Se trata de opciones filosófica y teológicamente complejas. Por supuesto, las creencias cristianas e islámicas de muchas personas filosófica y científicamente sofisticadas sobrevivieron a Darwin; muchas de ellas conservaron alguna noción de Providencia.

[28] Sobre el materialismo de Priestley, véanse Schwartz (1990) y Yolton (1983, cap. 6).

[29] El poema se encuentra en O’Brien (1989, p. 62). Este libro también contiene abundantes materiales sobre la Academia Warrington y la carrera magisterial de Priestley en ella.

[30] Véase Priestley (1772a). En Gibbs (1967, pp. 57-58, 69-70) puede leerse una discusión muy instructiva sobre el episodio del agua carbonatada, con diagramas de algunos aparatos. Véanse también Coley (1984) y Golinski (1999, pp. 112-117).

[31] Esto explica por qué en las tapas de las botellas de Schweppes hay impreso un “1793”.

[32] Véanse al menos Kitcher (2001), Resnik (2007) y contribuciones a Irzik (2013) y a Radder (2010).

[33] Véanse contribuciones a la revista *Science & Education* desde su primer volumen en 1992 hasta el presente.

[34] Véase Wandersee y Roach (1998) para ejemplos de los tipos de viñetas que existen y sus efectos.

[35] Para un extenso resumen y evaluación de esta tradición “histórico-investigativa”, véase Heering y Höttecke (2014).

[36] Son programas de ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas coordinados e integrados. Véase Tang (2012).

[1] Gary Niven, de la Escuela de Medicina de la Universidad de Queensland, está escribiendo una detallada tesis de doctorado sobre las deficiencias pedagógicas y teóricas del aprendizaje basado en problemas.

[2] Aún no existe una historia completa de las ventajas, las desventajas y las dinámicas externas e internas de la ola constructivista que barrió con la educación desde la década de 1970 hasta los primero años del siglo XXI. Pueden encontrarse reseñas históricas limitadas en Osborne (1996), Phillips (1997b, 2000) y Solomon (1994).

[3] Véanse especialmente Bowers (2007), Grandy (1997), Kragh (1998), Matthews (1993, 2000), McCarty y Schwandt (2000), Nola (1997, 2003), Phillips (1997a, 1997b, 2000), Scerri (2003), Slezak (2000, 2010, 2014), Small (2003) y Suchting (1992).

[4] Véanse en particular Kirschner *et al.* (2006), Mayer (2004) y contribuciones a Tobias y Duffy (2009).

[5] Las afirmaciones del constructivismo sociológico y sus polémicas y revolucionarias implicaciones para la enseñanza de la ciencia se examinan y se refutan, en su mayor parte, en Slezak (1994a, 1994b).

[6] La expresión alemana "perspectiva del mundo" está más relacionada con los sentimientos, la ética y la acción personal y política que el término inglés *worldview* (visión del mundo), más pasivo y más propio de un espectador.

[7] Del sitio web de Constructivist Foundations: <www.univie.ac.at/constructivism/journal>.

[8] Sobre la diferencia entre enseñanza y educación, véase Hirst (1971); sobre el concepto de adoctrinamiento, véanse contribuciones a Snook (1972).

[9] Sobre la noción de "aprendizaje racional", véase Hamlyn (1973).

[10] Sobre la relación entre constructivismo y empirismo clásico, véanse Matthews (1993) y Suchting (1992).

[11] Véanse contribuciones a NRC (2002).

[12] Véase, por ejemplo, Hamlyn (1978).

[13] La distinción le debe su forma moderna a Ryle (1949).

[14] Véanse Bickhard (1997) y Niiniluoto (1991).

[15] Véanse, por ejemplo, Siegel (1987), Norris (1997) y contribuciones a Nola (1988).

[16] Véanse especialmente Nola (2003) y Papayannakos (2008).

[17] El idealismo de estos sociólogos ha sido bien estudiado por Bunge (1991, 1992).

[18] Algunos estudios centrales son Burr y Hofer (2002), Chinn y Malhotra (2002), Hofer y Pintrich (1997), Kuhn *et al.* (2000) y Schommer (1994).

[19] Este caso se desarrolla y discute en Matthews (1998).

[20] Existe una enorme bibliografía sobre este tema, y muchos gobiernos del mundo encargan sus propios reportes. La conclusión general, con sus matices, es que a los niños debe enseñárseles a leer directamente, sonido por sonido, y luego combinaciones de sonidos. Esto no garantiza, por supuesto, que se conviertan en lectores, lo cual depende de que tengan materiales interesantes para leer.

[21] Éste es el sentido de la crítica de Chet Bowers al constructivismo: que es un vehículo para el imperialismo occidental (Bowers, 2007). Sobre este tema véase Taber (2009, pp. 148-160).

[22] Harvey Siegel ha escrito sobre este tema; uno de sus artículos tiene el apropiado título "Radical pedagogy requieres 'conservative' epistemology" [La pedagogía radical requiere una epistemología "conservadora"] (Siegel, 1995).

[1] Hay una infinidad de libros y artículos que discuten el realismo y el antirrealismo. La *Stanford Encyclopedia of Philosophy,* que se encuentra en línea, es un buen punto de partida tanto para la historia como para la literatura. Un clásico en defensa del realismo es Psillos (1999), y del antirrealismo Van Fraassen (1980). Para antologías en las que pueden hallarse ambas caras del argumento, véanse Churchland y Hooker (1985), Cohen *et al.* (1996), Leplin (1984) y Nola (1988).

[2] Si bien estos compromisos se enumeran por separado, están vinculados entre sí. Una afirmación realista ontológica sobre una entidad tiene que estar vinculada con una afirmación epistemológica sobre sus propiedades; la primera no puede sostenerse sin la última. Hacerlo equivaldría a decir que existen los duendes, pero no puede saberse ni decirse nada sobre ellos.

[3] En el capítulo XII mostraremos que ésta es la forma más eficaz de llevar la historia y filosofía de la ciencia a los programas de formación de maestros.

[4] Existen muchas fuentes sobre la astronomía antigua, pero véanse al menos Clagett (1957, cap. 7), Heath (1913/1981) y Sambursky (1956, caps. 3, 4).

[5] Sobre los argumentos de la tradición cristiana sobre el movimiento y el dios del movimiento, véase Buckley (1971).

[6] Recuérdese que el revolucionario tratado que publicó Copérnico en 1543 se titulaba *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*.

[7] Esta dedicatoria ha sido antologada con frecuencia. Véase Matthews (1989, pp. 40-44).

[8] Véanse Drake (1970, cap. 7) y Van Helden (1985).

[9] Como escriben dos constructivistas: "En general, los constructivistas reconocen una realidad que existe independientemente de los seres cognoscentes, pero sostienen que el acceso directo a esta realidad es para siempre esquivo" (Roth y Roychoudhury, 1994, p. 6). Esta afirmación constructivista en particular se detalla, y se critica en forma convincente, en Kitcher (2001) y Nola (2003).

[10] Sobre este tema, véase Cohen (2002).

[11] Resulta notable que Ernst von Glasersfeld nominara el año de 1710 como uno de los más importantes de la historia de la filosofía por haber sido cuando se publicó la obra de Berkeley, y también lo es que mencione *Los principios* como el primer libro de filosofía que leyó como refugiado en Irlanda durante la segunda Guerra Mundial. No es de sorprender que en buena parte de las discusiones constructivistas aún se escuche el eco del obispo Berkeley.

[12] Algunas excelentes obras recientes son Chalmers (2009), Pullman (1998), Pyle (1997) y Siegfried (2002). Una obra más vieja pero aún satisfactoria es la del filósofo tomista Van Melsen (1952).

[13] Sobre la formación científica y filosófica temprana de Newton, véanse Herival (1965) y Westfall (1980, caps. 3-5).

[14] Véanse por ejemplo Boyd (1984), Hooker (1985, 1987), McMullin (1984), Musgrave (1996), Psillos (1999, 2011), Schlagel (1986) y Snyder (2005).

[15] Alberto Cordero ha argumentado bien este caso (Cordero, 2013).

[16] La idea de la verdad aproximada, o "verosimilitud", como la llamó Popper, tiene sus problemas pero puede defenderse (Devitt, 1991; Oddie, 1986).

[1] Este capítulo está basado en una investigación publicada en Matthews (2009a).

[2] Una historia clásica de estas interacciones puede encontrarse en el estudio de J. D. Bernal en cuatro volúmenes, *Science in History* (Bernal, 1965). Véanse también Crombie (1994), Dewitt (2004) y Randall (1962).

[3] La serie documental para televisión que condujo en 2013 Richard Attenborough, *The Galapagos Islands,* se promueve con la frase: "Las islas que transformaron nuestra visión de la vida en la Tierra".

[4] Saber que el *Homo sapiens* comparte 98.4% de sus genes con los bonobos puede modificar las ideas de una persona sobre sus relaciones con el mundo animal.

[5] Entre la abundante bibliografía sobre el darwinismo y las visiones del mundo, véanse especialmente Dennett (1995), Greene (1981), McMullin (1985) y Ruse (1989).

[6] *Science and Politics in the Ancient World* (1939), de Benjamin Farrington, es un abordaje clásico de estos temas.

[7] La obra de H. Floris Cohen *The Scientific Revolution* (Cohen, 1994) es una guía muy didáctica sobre la amplísima bibliografía y los debates sobre la revolución científica (e incluye información sobre cuándo ponerle mayúsculas a este término).

[8] Las distintas variedades de aristotelismos medievales y renacentistas surgieron a raíz de los esfuerzos por acoger los nuevos avances y descubrimientos de la filosofía natural. Véanse Blum (2012) y Schmitt (1983).

[9] Una obra clásica sobre las doctrinas y la historia de la filosofía escolástica es De Wulf (1903/ 1956). Véanse también los vols. 2 y 3 de *History of Philosophy* de Frederick Copleston (Copleston, 1950).

[10] Para la historia, el contexto y el impacto de Copérnico véanse Blumenberg (1987), Gingerich (1975, 1993) y Grant (2004).

[*] Aquí, el autor hace un juego de palabras con las siglas en inglés de paradigma galileano-newtoniano (GNP) y de producto nacional bruto (GNP). [T.]

[11]Una discusión clásica es la de Dijksterhuis, *The Mecanization of the World Picture* (1961/1986). Sobre el impacto generalizado del método galileano-newtoniano, véanse Butts y Davis (1970), Cohen (1980), McMullin (1967) y Shank (2008).

[12] Por desgracia, estos primeros filósofos modernos suelen estudiarse en forma separada de la ciencia contemporánea con la que estaban involucrados; la filosofía moderna temprana se le presenta a los alumnos como un largo soliloquio, y no el diálogo y el debate con la temprana ciencia moderna que en realidad fue. Este tema se desarrolla, con textos, en Matthew (1989).

[13] Véanse por ejemplo Brooke (1991, cap. v), Israel (2001) y Porter (2000).

[14] Al respecto de este tema, sobre el que tanto se ha investigado, véanse al menos Blancke *et al.* (2012), Lawson y Worsnop (1002), Yasri *et al.* (2013), Martin-Hansen (2008), Sinatra y Nadelson (2011), Smith y Siegel (2004) y Taber *et al.* (2011).

[15] Sobre la encíclica de Juan Pablo II y cómo analizó y revisó la situación del tomismo, véase Ernst (2006).

[16] Un ejemplo de este tipo de razonamiento y de disposición es la idea de santo Tomás de Aquino de que la relación sexual estaba "ordenada naturalmente para la procreación" (*Sentencias,* 4.31.2.2), de modo que hasta permitirse el coito por razones de salud (un buen propósito) lo convertía en un acto antinatural y por lo tanto pecaminoso, puesto que no se hacía para su fin primordial. En su momento, y hasta la actualidad, este razonamiento ha convencido a millones de personas sensatas. Hoy a la mayor parte de la gente le parece sencillamente ridículo. Para una historia del tema, véase Noonan (1965, cap. 8).

[17] La relación entre el tomismo y la ciencia es un asunto complejo. El tomismo ha hecho sus ajustes y aún prospera en muchos círculos (Ashley, 1991; Lamont, 2009). La revista de filosofía *New Scholasticism* se publicó de 1927 a 1989; *The Thomist* se ha publicado sin interrupción desde 1939, y *The Modern Schoolman* se ha publicado sin pausa desde 1925. Por supuesto, aún se publican muchas revistas "escolásticas" de filosofía en idiomas distintos al inglés.

[18] Sobre las tensiones y acomodos que se han hecho entre la ciencia y el islam, véanse al menos Edis (2007), Edis y BouJaoude (2014) y Hoodbhoy (1991).

[19] Sobre la filosofía "oficial" en la Unión Soviética y su problemática relación con la ciencia, véase Graham (1973); sobre el maoísmo y la filosofía china de la ciencia, véanse Chan (1969) y Guo (2014).

[20] Véase Nanda (2003).

[21] Véanse Beyerchen (1977, 1992) y Cornwell (2003).

[22] La Iglesia católica romana ejerció este control último mediante el requisito que impuso a todos los autores de historia, teología y filosofía de obtener del censor diocesano el certificado de *nihil obstat* y luego el *imprimatur* del obispo, que autorizaba la publicación. Los regímenes comunistas tienen sus propios equivalentes.

[23] Sobre la filosofía de la educación en la enseñanza de la ciencia, véase Schulz (2009, 2014); sobre el asunto más general de las bases educativas, véanse contribuciones a Tozer *et al.* (1990).

[24] Entre una auténtica biblioteca de libros relevantes, véanse Bathour (1996), Brooke (1991), Haught (1995), Jaki (1978), Mascall (1956) y contribuciones a Lindberg y Numbers (1986).

[25] El sondeo se realizó entre mayo y agosto de 2007 y se publicó en junio de 2008 en el Pew Report, en <http://religions.pewforum.org/pdf/report-religious-landscape-study-full.pdf>.

[26] Véanse descripciones y entrevistas en Elliot (2013).

[27] Por supuesto, los posmodernistas y los defensores de los NOMA pueden argumentar que los legisladores de Papúa Nueva Guinea están equivocados en lo que afirman sobre el alcance de la ciencia. El primer juicio de apelación contra una condena por asesinato hará que afloren los filósofos de ambos lados del tribunal, tal como sucedió en 1981 en el caso de Little Rock, Arkansas, en el que el juez Overron respaldó el argumento del filósofo Michael Ruse de que podía demostrarse que el creacionismo no era una ciencia, si bien Larry Laudan argumentó después que no podía demostrarse tal cosa. Se decidió entonces que era ilegal enseñar creacionismo en las escuelas, del mismo modo que los asesinatos por hechicería serán declarados ilegales en Papúa Nueva Guinea.

[28] De paso, vale la pena señalar que todas las historias sobre la vida de Priestley muestran que es posible tener una existencia tranquila, gentil y profundamente "espiritual" sin creer en espíritus.

[29] En Selin (1997) puede encontrarse una introducción útil a la bibliografía, y hay muchas páginas de internet consagradas a este tema.

[30] Jegede (1997) llama a esto "aprendizaje colateral". Esta postura se argumenta en Ogunniy (1988) y otros textos, aunque la alternativa más recurrida es "darle la vuelta": empantanar las aguas argumentativas.

[31] Sobre el naturalismo, véanse Debitt (1998), Fishman y Boudry (2013), French *et al.* (1995), Mahner (2012, 2014), Nagel (1956), Rosenberg (2011) y Wagner y Warner (1993).

[32] Sobre el materialismo emergente, véanse Broad (1925), Bunge (1977, 1981, 2003, 2012) y Sellars (1932).

[33] Mario Bunge (Bunge, 2010) y Alex Rosenberg (Rosenberg, 2011) son defensores del cientificismo. Tom Sorell articula el argumento anticientificista (Sorell, 1991).

[34] En Barbour (1990), Haught (1995) y Polkinghorne (1986) se desarrollan diferentes taxonomías o formas de clasificar las relaciones entre ciencia y religión. En Reiss (2014) y Yasri *et al.* (2013) se discuten estos y otros temas.

[35] Sobre los argumentos y la bibliografía, véase McMullin (2005).

[36] Véanse una discusión y una bibliografía exhaustivas en Martin (1991).

[37] Muchos argumentan en contra de la postura de los ámbitos que no se superponen y afirman que la ciencia puede poner a prueba las afirmaciones sobrenaturales; entre ellos se cuentan Boudry *et al.* (2012), Fishman (2009), Slezak (2012 y Stenger (2007).

[38] Por desgracia, no existe una conexión entre la tecnología avanzada y el pensamiento avanzado, como lo demuestra que multitudes de espectadores que presenciaron en Papúa Nueva Guinea la quema de brujas descrita arriba capturaran el evento con las cámaras de sus teléfonos celulares y subieran el video a internet.

[1] Este capítulo se basa en investigaciones publicadas en Matthews (2012).

[2] Véanse al menos Arons (1988), Jung (1994, 2012), Norris (1985, 1997), Schulz (2009, 2014), Stenhouse (1985) y Stinner (1989), y los 66 captíulos de Matthews (2014).

[3] Véanse contribuciones al número especial de *Science & Education* (vol. 6, núm. 4, 1997; vol. 7, núm. 6, 1998), McComas (1998b), Flick y Lederman (2004) y Khine (2012). Véanse también las revisiones bibliográficas en Abd-el-Khalick y Lederman (2000) y Lederman (2007), y la bibliografía en Bell *et al.* (2001).

[4] La historia de la investigación sobre la naturaleza de la ciencia está ampliamente documentada en Duschl y Grandy (2013), Hodson (2014) y Lederman *et al.* (2014).

[5] Gürol Irzik y Robert Nola (2011, 2014) han argumentado de forma muy persuasiva sobre este punto.

[6] En un artículo reciente titulado "The interplay between philosophy of science and the practice of science education" [La interrelación entre la filosofía de la ciencia y la práctica de la enseñanza de la ciencia], se reconoce que "En décadas recientes, la comunidad de pedagogos de la ciencia ha sido testigo de un cambio de paradigma, del positivismo o empirismo lógico al constructivismo" (Tsai, 2003).

[7] En un texto William McComas "presenta y discute 15 ideas populares pero incorrectas sobre la naturaleza de la ciencia" (McComas, 1998b, p. 53).

[8] Para descripciones de los instrumentos que se han empleado para evaluar la naturaleza de la ciencia desde la década de 1950 hasta el presente, véanse Hodson (2014) y Lederman *et al.* (2014).

[9] Norman Lederman, actualmente profesor de enseñanza de la ciencia en el Chicago Institute of Technology, estuvo antes en la Oregon State University. Sus alumnos originales de esta última universidad incluyen a Fouad Abd-el-Khalick, Renee Schwartz, Valarie Akerson y Randy Bell, todos los cuales han publicado investigación en este campo.

[10] La lista se reproduce y se defiende, entre otros lugares, en Lederman *et al.* (2002: 499-502), Lederman (2004: 303-308) y Schwartz y Lederman (2008: 745-762).

[11] Véanse al menos Flick y Lederman (2004, cap. IV), Schwart y Lederman (2008) y Chen (2006).

[12] En Meehl y MacCorquodale (1948) puede encontrarse una discusión clásica sobre los diferentes constructos hipotéticos (que existen en principio) y las variables intermedias (que no existen en principio). En las ciencias sociales es de absoluta importancia tener claro este asunto: por ejemplo, ¿la "inteligencia" debe entenderse como un constructo hipotético o como una variable intermedia? Se han derramado ríos de tinta por culpa de investigadores que no han aclarado adecuadamente de qué están hablando.

[13] La afirmación clásica de esta postura "causal" es la de Boris Hessen, "The social and economic roots of Newton's *Principia*" [Las raíces sociales y económicas de los *Principia* de Newton] (Hessen, 1931). Para el texto de Hessen y comentarios sobre él, véase Freudenthal y McLaughlin (2009).

[14] Este tema se discutió en el capítulo x; véase también Nola e Irzik (2005).

[15] En el número especial de la revista *Science & Education* dedicado al tema, "Models in science and in science education" [Modelos en ciencia y en enseñanza de la ciencia] (2007, vol. 16, núms. 7-8), pueden encontrarse varios estudios esclarecedores. Todo el tema de los "modelos en la enseñanza de la ciencia" se revisa en Passmore *et al.* (2014).

[16] En los 20 años que han transcurrido desde la primera edición de este libro, la investigación de los alumnos se ha visto transformada por la ubicuidad de Wikipedia y por infinidad de repositorios de obras originales en línea.

[1] Este capítulo se basa, en parte, en textos publicados en Matthews (2014).

[2] Véanse Labaree (2008) y contribuciones a Cochran-Smith *et al.* (2008) y Roth (1999).

[3] En Tozer *et al.* (1990) y Waks (2008) pueden encontrarse argumentos sobre el lugar que ocupan las disciplinas básicas en la formación de maestros.

[4] Véase Schulz (2014a, 2014b) para una detallada encuesta sobre los campos de la filosofía de la educación y la enseñanza de la ciencia.

[5] Para un estado de la cuestión del posmodernismo en la enseñanza actual de la ciencia, véase Mackenzie *et al.* (2014). Para una reseña de los estudios culturales y la enseñanza de la ciencia, véase McCarthy (2014).

[6] Para otros ejemplos y discusiones sobre este tema, véase Slezak (2014).

[7] Para un desarrollo y una crítica de los argumentos de Scheffler sobre la enseñanza de la ciencia, véase Matthews (1997a); para opiniones más amplias, véanse contribuciones a Siegel (1997).

[8] La obra moderna básica sobre el papel del testimonio en los asuntos humanos y en la ciencia es Coady (1992).

[9] Para la vida y obra de Schwab, véase DeBoer (2014).

[10] Uno de ellos es James Robinson (Robinson, 1968, 1969). Para un relato de su vida y obra, véase Matthews (1997b).

[11] Cuando se cuestionan afirmaciones como ésta, se obtienen inevitablemente respuestas del tipo "No quise decir eso". Esto significa que la gente debería escribir con más cuidado. Para un ejemplo de esta popular treta, véase Schackel (2005).

[12] Loving y Cobern enumeran 30 artículos del *Journal of Research in Science Teaching and Science Education* en los 13 años que transcurrieron entre 1985 y 1997 que citan a Kuhn y temas kuhnianos.

[13] Véanse críticas de los filósofos Mario Bunge (1991, 1992), Susan Haack (1996) y Nicholas Shackel (2005), el sociólogo Stephen Cole (1992, 1996) y la historiadora Margaret Jacob (1998) a Latour y la sociología del conocimiento científico.

[14] Véanse Scheffler (1963a) y contribuciones a Tibble (1966).

[15] Ronald Schulz ha argumentado que el campo necesita, además, una filosofía de la enseñanza de la ciencia (Schulz, 2009, 2014a, 2014b).

[16] En Matthews (1990), McComas (1998), Rosa y Martins (1990), Schulz (2014b) y Sullenger y Turner (1998), pueden encontrarse detalles sobre estos cursos de historia y filosofía de la ciencia y de naturaleza de la ciencia en los programas de formación de maestros.

ÍNDICE ONOMÁSTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE GENERAL

La ciencia tiene una historia compleja y vital —afirma Michael R. Matthews en el primer capítulo de esta obra— y está repleta de ramificaciones filosóficas y culturales. La enseñanza de la ciencia debería permitir a los alumnos conocer esa historia para comprender el nacimiento y evolución de los grandes temas que han obsesionado a los científicos. Este postulado es congruente con una educación que no se conforma con preparar para el trabajo, sino que se propone contribuir al desarrollo cognitivo y moral de los individuos y de su cultura.

En estas páginas el autor explica cómo la historia y la filosofía de la ciencia contribuyen a resolver aspectos teóricos, pedagógicos y curriculares en la enseñanza de la ciencia. Desde su perspectiva histórica, el libro revela a estudiantes, profesores e investigadores las bases del conocimiento científico y su relación con otras disciplinas e influencias sociales más amplias; además, presenta en detalle un análisis acerca del constructivismo, diversas visiones del mundo y de la ciencia, técnicas de investigación, así como valores y herramientas para la formación de maestros.

MICHAEL R. MATTHEWS, doctor en filosofía de la educación, es profesor asociado honorario en la Escuela de Educación de la Universidad de Nueva Gales del Sur, Australia. Fundador de la revista internacional *Science & Education: Contributions from the History, Philosophy and Sociology of Science and Mathematics*, ha dado clases y publicado sobre enseñanza, historia y filosofía de la ciencia. En 2010 ganó el Premio de Educación Joseph H. Hazen, otorgado por la Sociedad de Historia de la Ciencia de los Estados Unidos, por sus contribuciones a la enseñanza de la historia de la ciencia. Ha publicado, entre otros, *The Marxist Theory of Schooling: A Study of Epistemology and Education* (1980), *Challenging New Zealand Science Education* (1995) y *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion can Contribute to Science Literacy* (2000).

www.fondodeculturaeconomica.com

Índice